

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID

Escuela Universitaria de
Ingeniería Técnica de Telecomunicación



PROYECTO FIN DE GRADO

INTEGRACIÓN WI-FI EN UN
PROYECTO ICT

SONIA PÉREZ-VÁZQUEZ LOSADA

Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación

Septiembre 2012



PROYECTO FIN DE GRADO

TÍTULO: Integración Wi-Fi en un proyecto ICT

AUTOR: Sonia Pérez-Vázquez Losada

TUTOR (o Director en su caso): Carlos Cortés Alcalá

DEPARTAMENTO: DIAC

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación

VºBº

Miembros del Tribunal Calificador:

PRESIDENTE: Javier Palmero Huerta

TUTOR: Carlos Cortés Alcalá

SECRETARIO: José Luis Rodríguez
Vázquez

Fecha de lectura: de septiembre de 2012

Calificación:

El Secretario,

Trabajo Fin de Grado

Integración Wi-Fi en un proyecto ICT

Sonia Pérez-Vázquez Losada

Resumen

La instalación de Infraestructuras Comunes de Telecomunicación (IICCTT) en el interior de las edificaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación facilitó la incorporación a las viviendas de las nuevas tecnologías de forma económica y transparente para los usuarios.

Actualmente, todos los edificios de nueva construcción deben presentar un proyecto ICT firmado por un Ingeniero Técnico de Telecomunicación de la especialidad correspondiente o un Ingeniero de Telecomunicación. La legislación que las regula afecta a todo tipo de viviendas con independencia del poder adquisitivo del comprador, y contribuye de manera decisiva a que disminuyan a corto y medio plazo las desigualdades sociales en lo relativo al acceso a servicios de telecomunicación tales como telefonía, Internet, telecomunicación por cable, radiodifusión sonora y televisión analógica, digital, terrenal o por satélite, etc..

Desde 1997, el Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación junto con otras organizaciones públicas y privadas ha participado en la elaboración de la normativa aplicable a las Infraestructuras Comunes de Telecomunicación, dando lugar al actual decreto, el **Real Decreto 346/2011, de 11 de Marzo**.

El propósito general de este proyecto es diseñar una red Wi-Fi a partir de las canalizaciones e instalaciones del proyecto ICT de un conjunto de viviendas unifamiliares, para que todas ellas dispongan de conexión a internet de forma inalámbrica.

Para llevar a cabo este diseño, se ha realizado un estudio de las características del estándar IEEE 802.11, conocido como Wi-Fi, analizando las posibilidades de comunicación inalámbrica que ofrece, así como las limitaciones que presenta en la actualidad.

Se ha analizado el proyecto ICT del conjunto de viviendas, estudiando la viabilidad de utilizar sus instalaciones para implementar la red Wi-Fi, añadiendo tanto las canalizaciones como los dispositivos comerciales necesarios para llevar a cabo dicha implementación. Además, se ha estudiado la posibilidad de integrar la red Wi-Fi utilizando el cableado de televisión de la propia ICT.

Por último, se ha estudiado la gran importancia que al Hogar Digital se da en el **Real Decreto 346/2011, de 11 de marzo**, por el que se aprueba el Reglamento regulador de las Infraestructuras Comunes de Telecomunicaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de las edificaciones, presentando los aspectos

fundamentales que se persiguen con la domotización de la vivienda como mejora de vida de sus habitantes.

Abstract

The installation of Telecommunications Common Infrastructures (TCIs, in Spanish Infraestructuras Comunes de Telecomunicación –IICCTT-) in the buildings, in order to gain access to telecommunications services, facilitated the incorporation into the houses of new technologies in an economical and transparent way for users.

Nowadays, every new construction building must have a TCI project signed by a Telecommunications Engineer or a Technical Telecommunications Engineer with the appropriate specialization. The legislation that regulates TCIs affects every kind of houses, independently of the buyer's purchasing power, and contributes decisively to decrease in short and medium terms the social inequalities concerning the access to the telecommunication services, such as telephony, Internet, wired telecommunications, audible broadcasting and digital, analogical, land, satellite television, etc..

Since 1997, the Telecommunications Engineer Official College, together with other public and private organizations, has been elaborating the regulations for the TCIs, giving rise to the current decree, the **Royal Decree 346/2011, of 11th of March**.

The general purpose of this project is to design a Wi-Fi network based on the canalizations and installations of the TCI project of a housing development, in such a way that every house is provided with a wireless connection to the Internet.

In order to carry out this design, the characteristics of the standard IEEE 802.11, known as Wi-Fi, have been studied, analyzing the wireless-communication possibilities that it offers, as well as the constraints that it presents currently.

The TCI project has been analyzed, studying the feasibility of using its installations to implement the Wi-Fi network, adding the canalizations and commercial devices required to execute the aforementioned implementation. Besides, the possibility of integrating the Wi-Fi network using the television wires of the TCI project has been investigated.

Finally, it has been studied the great importance that has been given to Digital Home in the **Royal Decree 346/2011, of 11th of March**, that approves the regulatory Regulations of Telecommunications Common Infrastructures for the access to telecommunications services inside the buildings, presenting the essential aspects that are pursued with the house domotization as a way to improve the quality of life of its inhabitants.

La educación es el arma más poderosa que puedes usar para cambiar el mundo.

Nelson Mandela

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a mi tutor de proyecto, Carlos Cortés Alcalá, la dedicación y apoyo que me ha brindado durante la realización de este proyecto. Gracias por confiar en mí, por compartir conmigo tu experiencia y conocimiento.

También me gustaría incluir aquí a mis compañeros de clase, Andoni, Jon, Ana y Belén, porque entre todos no sólo hemos logrado terminar con éxito esta experiencia pionera en la Escuela, sino que lo hemos conseguido de la manera más amena posible.

Como siempre, me gustaría agradecer a mi familia su comprensión y cariño incondicionales. No importa cuántos proyectos empiece, vosotros siempre los veis completar antes que yo y no dejáis de animarme hasta el último momento.

Sonia Pérez-Vázquez Losada

Índice General

Capítulo 1: Introducción	1
1.1 Objeto del proyecto	1
1.2 Estructura del proyecto	2
Capítulo 2: Infraestructuras Comunes de Telecomunicación	5
2.1 Marco legislativo	5
2.2 ¿Qué es una ICT?	7
2.3 El proyecto Técnico	8
2.4 Recintos de Instalación	11
2.5 Elementos de la ICT	12
2.5.1 Radiodifusión sonora y televisión	12
2.5.2 Acceso al servicio de telefonía	14
2.5.3 Acceso al servicio de banda ancha	15
Capítulo 3: IEEE802.11 - Wi-Fi	17
3.1. Introducción	17
3.2. Redes inalámbricas IEEE802.11 – Wi-Fi	18
3.3. Arquitectura de red	20
3.4 Capas del estándar IEEE802.11	25
3.5 Técnicas de transmisión de los estándares 802.11	27
3.5.1 IR	29
3.5.2 DSSS	30
3.5.3 FHSS	31
3.5.4 OFDM	33
3.5.5 MIMO	34
3.6 Control de acceso al medio en 802.11	35
3.7. Estándar IEEE802.11	39
Capítulo 4: Integración de red Wi-Fi en proyecto ICT	45
INTEGRACIÓN WI-FI EN UN PROYECTO ICT	

4.1 Datos Generales.....	45
4.2 Infraestructura de la red	46
4.2.1 Topología de red	46
4.2.2 Elementos de la red	49
4.2.3 Dimensionamiento de la red.....	50
4.2.4 Estructura de distribución de la red	51
4.2.5 Número de tomas.....	52
4.3 Características de los elementos de la red	53
4.3.1 Cableado de red	53
4.3.2 <i>Switch</i>	56
4.3.3 <i>Router</i> o punto de acceso inalámbrico	58
4.3.4 <i>Router</i> ADSL	61
4.4 Presupuesto	62
Capítulo 5: Integración de red Wi-Fi en cable de televisión	65
5.1 Introducción	65
5.2 Desarrollo de la idea	65
5.3 Posible implementación con un producto comercial	67
5.4 Presupuesto	71
Capítulo 6: Hogar digital y domotización.....	73
6.1. El hogar digital en el RD 346/2011	73
6.1.1 Definición de «Hogar Digital» y sus áreas de servicios.....	73
6.1.2 Instalaciones del Hogar Digital.....	75
6.1.3 Servicios del Hogar Digital.....	76
6.1.4 Niveles de Hogar Digital	77
6.2. Domotización	78
6.2.1 Mayor nivel de confort	79
6.2.2 Aumento de la seguridad de bienes materiales y personas.....	79
6.2.3 Ahorro energético.....	79

6.2.4 Nuevas facilidades de comunicación.....	79
Capítulo 7: Conclusiones.....	81
7.1. Conclusiones.....	81
7.2 Trabajo futuro.....	82
Referencias	83
Bibliografía	87
Anexo I. Distribución de los puntos de acceso en las viviendas.....	89
1. Distribución de los puntos de acceso en las viviendas.....	89
Anexo II. Planos del proyecto ICT de las viviendas.....	90
1. Plano del proyecto ICT para vivienda tipo 1A.....	90
2. Plano del proyecto ICT para vivienda tipo 1B.....	91
3. Plano del proyecto ICT para vivienda tipo 1Be.....	92
4. Plano del proyecto ICT para vivienda tipo 2.....	93
5. Plano del proyecto ICT para vivienda tipo 3.....	94
Anexo III. Distribución de <i>routers</i> y <i>switchs</i> por las viviendas	95
1. Distribución de <i>routers</i> y <i>switchs</i> por las viviendas.....	95

Índice de Figuras

Figura 1. Proceso administrativo de una ICT	11
Figura 2. Familia de estándares 802 de IEEE [7]	17
Figura 3. Componentes de una LAN 802.11 [9].....	20
Figura 4. Esquema de un BSS independiente [5]	21
Figura 5. Esquema de un BSS en modo infraestructura [5]	22
Figura 6. Servicio extendido ESS [5].....	22
Figura 7. Resumen de servicios de IEEE802.11 [5]	25
Figura 8. Pila del modelo OSI.....	26
Figura 9. Comparativa entre la arquitectura de capas de.....	27
Figura 10. Características de las modulaciones empleadas por los estándares IEEE802.11 [10].	28
Figura 11. Representación gráfica de la modulación PPM	29
Figura 12. Representación gráfica de DSSS [10]	30
Figura 13Representación gráfica de FHSS [10].....	32
Figura 14. Representación gráfica de OFDM [10].	33
Figura 15. Transmisión fragmentada de una trama MPDU [5].	38
Figura 16Topología de ducto o bus	47
Figura 17. Topología de anillo.....	47
Figura 18. Topología de malla.....	48
Figura 19. Topología de árbol	48
Figura 20. Topología de estrella.....	49
Figura 21. Cable UTP categoría 5.....	54
Figura 22. Conector RJ45.....	54
Figura 23. Atenuación del cable UTP categoría 5.....	56
Figura 24. Red con topología de estrella con conmutador en el centro	56

Figura 25. Switch10/100 D-LINK (DES-1026G)	57
Figura 26. <i>Switch</i> 10/100TX (RJ-45) D-LINK (DES-1008D)	58
Figura 27. <i>Router</i> Linksys Wireless-G Broadband (WRT54GL).....	59
Figura 29. Integración de la señal Wi-Fi en la red de televisión	65
Figura 30. UEK-3000 Conversor de bajada AMSAT AO-40	66
Figura 31. Esquema de la integración de red Wi-Fi en cable de televisión con un producto comercial	68
Figura 32. Topología Homerun.....	69
Figura 33. Topología de cascada	69
Figura 34. Topología de Homerun-cascada.....	70

Índice de Tablas

Tabla 1. Técnicas de transmisión de los estándares 802.11 más utilizados.	28
Tabla 2. Modulaciones de DSSS	31
Tabla 3. Tipos de viviendas existentes en el complejo residencial.....	45
Tabla 4. Organización de todas las subredes.....	52
Tabla 5. Distribución de las tomas de red.....	53
Tabla 6. Características del cable UTP categoría 5	55
Tabla 7. Características del <i>router</i> Linksys Wireless-G Broadband (WRT54GL)	60
Tabla 8. Características de 3Com <i>Router</i> 3031	61
Tabla 9. Presupuesto de la integración de la red Wi-Fi en el proyecto ICT	63
Tabla 10. Características técnicas de UEK-3000 Conversor de bajada AMSAT AO-40	67
Tabla 11. Presupuesto de la integración de red Wi-Fi en el cableado de televisión	71
Tabla 12. Puntuación de niveles de Hogar Digital [RD11]	78

Lista de acrónimos

ICT (Infraestructura Común de Telecomunicación)
RDSI (Red Digital de Servicios Integrados)
SAFI (Servicio de Acceso Fijo Inalámbrico)
RITS (Recinto de Instalación de Telecomunicaciones Superior)
RITI (Recinto de Instalación de Telecomunicaciones Inferior)
RITU (Recinto de Instalación de Telecomunicaciones Único)
RITM (Recinto de Instalación de Telecomunicaciones Modular).
PAU (Punto de Acceso al Usuario)
BAT (Bases de Acceso Terminal)
IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*)
LAN (*Local Area Network*)
MAN (*Metropolitan Area Network*)
WLAN (*Wireless Local Area Network*)
WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network*)
WAN (*Wide Area Network*)
SS (*Spread Spectrum*)
SS (*Station Service*)
Wi-Fi (*Wireless Fidelity*)
DS (*Distribution System*)
AP (*Access Point*)
STA (*Station*)
BSS (*Basic Service Set*)
IBSS (*Independent Basic Service Set*)
ADSL (*Asymmetric Digital Subscriber Line*)
ESS (*Extended Service Set*)
MSDU (*Media Access Control Service Data Unit*)
DSS (*Distribution System Service*)
MAC (*Media Access Control*)
PHY (*Physical Signaling Layer*)
MAC (*Media Access Control*)
OSI (*Open System Interconnection*)
PLCP (*Physical Layer Convergence Procedure*)
PMD (*Physical Medium Dependent Layer*)
LLC (*Logical Link Control*)
DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum*)
FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum*)
OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)
IR (*Infrarrojo*)
MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output*)
PPM (*Pulse Position Modulation*)

DBPSK (*Differential Binary Phase-Shift Keying*)
DQPSK (*Differential Quadrature Phase-Shift Keying*)
CCK (*Complementary Code Keying*)
ICM (*Industrial, Científica y Médica*)
ISM (*Industrial, Scientific and Medical*)
FSK (*Frequency Shift Keying*)
ISI (*Inter-Symbol Interference*)
ICI (*Inter-Channel Interference*)
BPSK (*Binary Phase-Shift Keying*)
QPSK (*Quadrature Phase-Shift Keying*)
16-QAM (*16ary Quadrature Amplitude Modulation*)
64-QAM (*64ary Quadrature Amplitude Modulation*)
MISO (*Multiple-Input Single-Output*)
SIMO (*Single-Input Multiple-Output*)
CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*)
CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*)
RTS (*Request to Send*)
CTS (*Clear to Send*)
DCF (*Distributed Coordination Function*)
ACK (*Acknowledgement*)
IFS (*Interframe Space*)
SIFS (*Short Inter Frame Space*)
PIFS (*Point Coordination IFS*)
CFP (*Contention Free Period*)
DIFS (*Distributed IFS*)
EIFS (*Extended IFS*)
CW (*Contention Window*)
CRC (*Cyclic Redundancy Check*)
MPDU (*Message Protocol Data Unit*)
PCF (*Point Coordination Function*)
PC (*Punto Coordinador*)
TCP (*Transmission Control Protocol*)
UDP (*User Datagram Protocol*)
QoS (*Quality of Service*)
IAPP (*Inter-Access Point Protocol*)
ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*)
TKIP (*Temporal Key Integrity Protocol*)
AES (*Advanced Encryption Standard*)
WAVE (*Wireless Access for the Vehicular Environment*)
VoIP (*Voice Over Internet Protocol*)
LTE (*Long Term Evolution*)
UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*)

WIMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*)

UTP (*Unshielded Twisted Pair*)

RTR (*Registro de Terminación de Red*)

UTP (*Unshielded Twisted Pair*)

LED (*Light Emitting Diode*)

DSL (*Digital Subscriber Line*)

DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*)

NAT (*Network Address Translation*)

VPN (*Virtual Private Network*)

DRAM (*Dynamic Random Access Memory*)

POTS (*Plain Old Telephone Service*)

IF (*Intermediate Frequency*)

RGCS (*Red de Gestión, Control y Seguridad*)

VOD (*Video On Demand*)

Capítulo 1: Introducción

1.1 Objeto del proyecto

El propósito general de este proyecto es diseñar una red Wi-Fi a partir de las canalizaciones del proyecto ICT de un conjunto de viviendas unifamiliares para que todas ellas dispongan de conexión a internet de forma inalámbrica. Para ello, se perseguirán los siguientes objetivos concretos:

1. Estudio sobre la tecnología Wi-Fi, con las posibilidades que ofrece y las limitaciones que presenta.
2. Análisis del proyecto de ICT, estudiando sus canalizaciones e instalaciones y la viabilidad de utilizarlas para implementar la red Wi-Fi.
3. Diseño de la red Wi-Fi a partir de las canalizaciones del proyecto ICT.
4. Elaboración del esquema en el que figure la distribución de las instalaciones proyectadas.
5. Elaboración de un presupuesto detallado de lo que podría costar el conjunto de la instalación Wi-Fi.
6. Estudio de la posibilidad de implementar la red Wi-Fi utilizando las canalizaciones de televisión de la propia ICT. Presentación de un producto comercial existente en el mercado con el que llevar a cabo la integración y elaboración de un presupuesto.

Además, con este proyecto se pretende analizar un aspecto fundamental que se ha introducido en el **Real Decreto 346/2011, de 11 de marzo**, por el que se aprueba el Reglamento regulador de las Infraestructuras Comunes de Telecomunicaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de las edificaciones:

7. Destacar la gran importancia que en este decreto se da al Hogar Digital. Para ello, se analizarán los cuatro aspectos fundamentales que se pretende alcanzar con la domotización de la vivienda para mejorar la calidad de vida de sus habitantes:
 - Mayor nivel de confort
 - Aumento de la seguridad de bienes materiales y personas

- Ahorro energético
- Nuevas facilidades de comunicación.

1.2 Estructura del proyecto

La presente memoria se divide en siete capítulos bien diferenciados cuyo contenido se detalla a continuación:

- En el capítulo 1 se presentan los objetivos del proyecto, su motivación y el trabajo realizado para satisfacerlos.
- En el capítulo 2 se explica qué es una ICT, con los diferentes elementos y recintos de instalación que la constituyen, y qué es el proyecto técnico. También se hace un recorrido histórico por el marco legislativo de las IICCTT, hasta llegar al vigente.
- En el capítulo 3 se detallan las características del estándar IEEE 802.11 o Wi-Fi, haciendo un recorrido por sus diferentes versiones hasta llegar a su estado actual, del cual se analizan las posibilidades y limitaciones que ofrece como protocolo de comunicaciones inalámbricas.
- En el capítulo 4 se analiza el proyecto ICT de un grupo de viviendas, y se estudia la viabilidad de implementar una red Wi-Fi utilizando sus instalaciones y canalizaciones. Se diseña dicha red añadiendo al proyecto ICT las canalizaciones y dispositivos necesarios y se elabora un presupuesto.
- En el capítulo 5 se investiga la posibilidad de integrar la red Wi-Fi en el cableado de televisión del proyecto ICT, presentando un producto comercial con el que llevar a cabo dicha integración. También se elabora un presupuesto de la solución.
- En el capítulo 6 se analiza la gran importancia que en el **Real Decreto 346/2011, de 11 de marzo**, por el que se aprueba el Reglamento regulador de las Infraestructuras Comunes de Telecomunicaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de las edificaciones, se da al Hogar Digital. Y se presentan los cuatro objetivos fundamentales que se persiguen con la domotización de la vivienda como solución para mejorar la calidad de vida de sus habitantes.

- En el capítulo 7, se presentan las conclusiones a las que se ha llegado con la elaboración de este trabajo.
- Finalmente, se añaden los anexos I, II y III, en los que se incluyen los esquemas con el despliegue de infraestructura de red que se han elaborado. Estos se han dibujado sobre los planos del proyecto ICT de las viviendas.

Capítulo 2: Infraestructuras Comunes de Telecomunicación

2.1 Marco legislativo

La instalación de Infraestructuras Comunes de Telecomunicación (IICCTT) en el interior de las edificaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación facilitó la incorporación a las viviendas, sobre todo las de nueva construcción, de las nuevas tecnologías de forma económica y transparente para los usuarios [1]. Así pues, las Infraestructuras Comunes de Telecomunicación permiten acceder a los servicios de televisión por cable, televisión terrestre, telefonía, etc..

Actualmente, todos los edificios de nueva construcción deben presentar un proyecto ICT firmado por un Ingeniero Técnico de Telecomunicación de la especialidad correspondiente o un Ingeniero de Telecomunicación. La legislación que las regula afecta a todo tipo de viviendas con independencia del poder adquisitivo del comprador, y contribuye de manera decisiva a que disminuyan a corto y medio plazo las desigualdades sociales en lo relativo al acceso a servicios de telecomunicación tales como telefonía, Internet, telecomunicación por cable, radiodifusión sonora y televisión analógica, digital, terrenal o por satélite, etc..

Desde 1997, el Colegio Oficial de Ingenieros de Telecomunicación, la Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información y otras organizaciones públicas y privadas han participado en la elaboración de las disposiciones legales que constituyen la normativa aplicable a las Infraestructuras Comunes de Telecomunicaciones (ICT) para el acceso a los servicios de telecomunicaciones en los edificios [2].

Esta normativa se ha ido elaborando a partir de 1998, año en que se publicó el **Real Decreto-ley 1/1998, de 27 de febrero**, que estableció el marco jurídico de las IICCTT. Desde entonces, una serie de disposiciones legales, que se enumeran a continuación, han ido conformando y desarrollando la reglamentación de estas infraestructuras:

- **Real Decreto-ley 1/1998, de 27 de febrero**, que estableció el marco jurídico de las IICCTT. Desde entonces una serie de disposiciones legales han ido conformando y desarrollando la reglamentación de estas infraestructuras.
- La **Ley 8/1999, de 6 de abril**, de reforma de la **Ley 49/1960, de 21 de julio**, de Propiedad Horizontal, estableció las condiciones en las que las Juntas de

Propietarios pueden acordar la instalación de una ICT en los edificios que no dispongan de ella y las definió como elementos comunes.

- La **Ley 38/1999, de 5 de noviembre**, modificó la definición del ámbito de aplicación del **Real Decreto-ley 1/1998** y estableció, como requisito básico de funcionalidad de todos los edificios, el acceso a los servicios de telecomunicación, audiovisuales y de información.

- El **Real Decreto 401/2003, de 4 de abril**, aprueba el reglamento regulador de las Infraestructuras Comunes de Telecomunicación y la actividad de instalación de equipos y sistemas de telecomunicación. Actualizó las disposiciones que regulaban y desarrollaban los aspectos legales y técnicos correspondientes al proyecto, instalación y certificación de dichas infraestructuras y definió al Ingeniero de Telecomunicación como técnico titulado competente en esta materia.

- La **Orden CTE/1926/2003, de 14 de mayo**, que desarrolla el anterior Real Decreto, estableció las condiciones para la ejecución y tramitación de los Proyectos, Boletines de Instalación, Protocolos de Pruebas y Certificaciones de Fin de Obra de las IICCTT.

- La **Ley 10/2005, de 14 de junio**, de Medidas Urgentes para el impulso de la Televisión Digital Terrestre, la Liberación de la Televisión por Cable y de Fomento del Pluralismo, modificó el **Real Decreto-ley 1/1998, de 27 de febrero**, estableció la definición de la ICT, las funciones que debe cumplir y la condición de que los proyectos y certificados de fin de obra deben estar firmados por un Ingeniero de Telecomunicación.

- La **Orden ICT/1077/2006, de 6 de abril**, por la que se establece el procedimiento a seguir en las instalaciones colectivas de recepción de televisión en el proceso de su adecuación para la recepción de la televisión digital terrestre y se modifican determinados aspectos administrativos y técnicos de las infraestructuras comunes de telecomunicación en el interior de los edificios.

- La **Ley 25/2009, de 22 de diciembre**, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la Ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio, afectó la actividad de instalación de equipos y sistemas de telecomunicación.

- El **Real Decreto 244/2010, de 5 de marzo**, por el que se aprueba el Reglamento regulador de la actividad de instalación y mantenimiento de equipos

y sistemas de telecomunicación y que derogó el capítulo III del Real Decreto 401/2003, de 4 de abril.

- El **Real Decreto 346/2011, de 11 de marzo**, que fomenta el acceso rápido y ultrarrápido a Internet, para lo cual contempla, entre las redes de acceso, la basada en fibra óptica [3]. El reglamento aprobado por este real decreto tiene como objeto garantizar el derecho de los ciudadanos a acceder a las diferentes ofertas de nuevos servicios de telecomunicación, eliminando los obstáculos que les impidan poder contratar libremente los servicios de telecomunicación que deseen, así como garantizar una competencia efectiva entre los operadores, asegurando que disponen de igualdad de oportunidades para hacer llegar sus servicios hasta sus clientes. Por otra parte, el reglamento aprobado por el presente real decreto contribuye a la eficiencia y el ahorro energético y a la accesibilidad cuando se utilicen las tecnologías que se encuadran dentro del concepto de «hogar digital». En este sentido, incide en la necesidad de que las infraestructuras de telecomunicación de las edificaciones sean diseñadas de forma tal, que resulte sencilla su evolución y adaptación contribuyendo al proceso de acercamiento de las viviendas al concepto de «hogar digital», y a la obtención de los beneficios que éste proporciona a sus usuarios: mayor seguridad, ahorro y eficiencia energética, accesibilidad, etc.

2.2 ¿Qué es una ICT?

La Infraestructura Común de Telecomunicación (ICT) es la infraestructura básica con la que en España, desde 1998, se define por ley el conjunto de recursos mínimos que a continuación se indican [1]:

- Telefonía.
- Red Digital de Servicios Integrados (RDSI).
- Radio y televisión (tanto digital como analógica).
- Telecomunicaciones por cable.

En el *Artículo 3. Ámbito de aplicación* del **Real Decreto 346/2011, de 11 de marzo**, se especifica el ámbito de aplicación de las normas que éste recoge en relación a las infraestructuras comunes de telecomunicación [3]:

“1. A todos los edificios y conjuntos inmobiliarios en los que exista continuidad en la edificación, de uso residencial o no, y sean o no de nueva construcción,

que estén acogidos, o deban acogerse, al régimen de propiedad horizontal regulado por la Ley 49/1960, de 21 de julio, sobre Propiedad Horizontal.

2. A los edificios que, en todo o en parte, hayan sido o sean objeto de arrendamiento por plazo superior a un año, salvo los que alberguen una sola vivienda.”

Así pues, se entiende por Infraestructura Común de Telecomunicación (ICT) para el acceso a los servicios de telecomunicación aquella que exista o se instale en los inmuebles comprendidos en el ámbito de aplicación del **Real Decreto 346/2011, de 11 de marzo**, con objeto de cumplir, como mínimo, las siguientes funciones [4]:

- Captar, adaptar y distribuir hasta puntos de conexión situados en las distintas viviendas o locales las señales de radiodifusión sonora y de televisión terrenal; así como distribuir las señales de televisión por satélite hasta los citados puntos de conexión. Las señales mencionadas serán difundidas por las entidades habilitadas dentro del ámbito territorial correspondiente.
- Proporcionar el acceso al servicio de telefonía disponible al público, así como a los servicios que se puedan prestar a través de dicho acceso, a través de la infraestructura necesaria que permita la conexión de las distintas viviendas o locales a las redes de los operadores habilitados en cada caso.
- Proporcionar el acceso a los servicios de telecomunicación prestados por operadores de redes de telecomunicación por cable, operadores del Servicio de Acceso Fijo Inalámbrico (SAFI) y otros titulares de licencias individuales que habiliten para el establecimiento y explotación de redes públicas de telecomunicación que se pretendan prestar por infraestructuras distintas a las utilizadas para el acceso a los servicios contemplados en el punto anterior. Estos serán los denominados servicios de telecomunicaciones de banda ancha, que requerirán la infraestructura necesaria que permita la conexión de las diferentes viviendas o locales a las redes de los operadores habilitados.

2.3 El proyecto Técnico

Un proyecto de ICT es un proyecto de carácter técnico que describe las instalaciones necesarias para la adecuación de las nuevas promociones a los servicios de telecomunicación [2].

A fin de garantizar que las edificaciones cumplan con las normas técnicas establecidas en el **Real Decreto 346/2011, de 11 de marzo**, deberá elaborarse el correspondiente

Proyecto Técnico. Según la **Ley 10/2005, de 14 de junio**, Artículo 5, éste deberá estar firmado por un ingeniero de telecomunicación o un ingeniero técnico de telecomunicación de la especialidad correspondiente. Éste, a su vez, actuará en coordinación con el autor del proyecto de edificación. En el Proyecto Técnico, visado por el colegio profesional correspondiente, se describirán en detalle todos los elementos que componen la instalación, así como su ubicación y dimensiones, indicando las normas que cumplen.

El Proyecto Técnico deberá incluir, al menos, los siguientes documentos [1]:

- La **memoria**, que al menos incluirá:
 - Descripción de la edificación.
 - Descripción de los servicios que se incluyen en la infraestructura.
 - Previsiones de demanda.
 - Cálculos de niveles de señal en los distintos puntos de la instalación.
 - Elementos que componen la infraestructura.

- El conjunto de **planos**, que al menos recogerán:
 - Esquemas iniciales de la instalación.
 - Tipo, número, características y situación de los elementos de la infraestructura y las canalizaciones de telecomunicación del inmueble.
 - Situación y ordenación de los recintos de instalaciones de telecomunicaciones.
 - Otras instalaciones previstas en el inmueble que pudieran interferir o ser interferidas en su funcionamiento con la infraestructura.
 - Detalles de ejecución de puntos singulares, cuando así se requiera.

- El **pliego de condiciones**, donde se determinarán las calidades de los materiales y equipos y las condiciones de montaje.

- El **presupuesto**, donde se especificará el número y precio de cada unidad en que puedan descomponerse los trabajos y se definirán las características, modelos, tipos y dimensiones de cada uno de los elementos que constituyen el proyecto.

El Proyecto Técnico deberá presentarse en [1]:

- El **Ayuntamiento**, junto con el Proyecto Arquitectónico. De acuerdo con el **Real Decreto-Ley 1/98**, Artículo 3, no se concederá autorización para la construcción o rehabilitación integral de ningún edificio si el correspondiente Proyecto Arquitectónico no va unido de aquel que prevea la instalación de una infraestructura común propia.
- En la **Jefatura Provincial de Inspección de Telecomunicaciones**. Según el **Real Decreto-Ley 10/2005**, otro ejemplar del proyecto, acompañado de copia en formato digital, deberá presentarse en la Jefatura Provincial de Inspección de Telecomunicaciones que corresponda, a fin de que pueda inspeccionarse la instalación, cuando la autoridad competente lo considere oportuno.
- La **propiedad**: el promotor durante la fase de construcción y la comunidad del edificio cuando ésta se haya constituido.

Cuando la instalación requiera de una modificación sustancial del proyecto original, se deberá presentar el proyecto modificado correspondiente, realizado por un ingeniero de telecomunicación o un ingeniero técnico de telecomunicación de la especialidad correspondiente y debidamente visado [2]. Cuando las modificaciones no produzcan un cambio sustancial del proyecto original, éstas se incorporarán al proyecto original en forma de anexos. La propiedad deberá conservar el proyecto modificado.

Con la firma y el visado del Proyecto Técnico emitido por el colegio profesional correspondiente, se presupone que éste cumple la normativa recogida en el reglamento. Sin perjuicio de esta presunción, la Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información podrá ordenar las actuaciones de comprobación necesarias para verificar su correcta aplicación, para lo cual podrá realizar auditorías o evaluaciones externas [1].

A tal fin, los colegios profesionales competentes en materia de telecomunicaciones deberán colaborar con el personal inspector de la Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información [2]. Asimismo, se podrán firmar convenios de colaboración entre la Secretaría de Estado de Telecomunicaciones y para la Sociedad de la Información y los colegios profesionales, con el fin de coordinar los procedimientos de auditorías y de control.

La instalación de la ICT deberá desarrollarse a cargo de un instalador inscrito en el registro de instaladores de telecomunicación de la Secretaría General de Comunicaciones dentro del tipo A: Infraestructuras de Telecomunicación en edificios o inmuebles.

En lo que se refiere a la propiedad de la ICT, una vez realizada la venta del edificio, la ICT de un edificio de nueva construcción es un bien común, del mismo modo que el resto de los servicios del edificio, por lo que la propiedad le corresponde a la comunidad de propietarios.

La figura 1 muestra un esquema del proceso administrativo [1]:

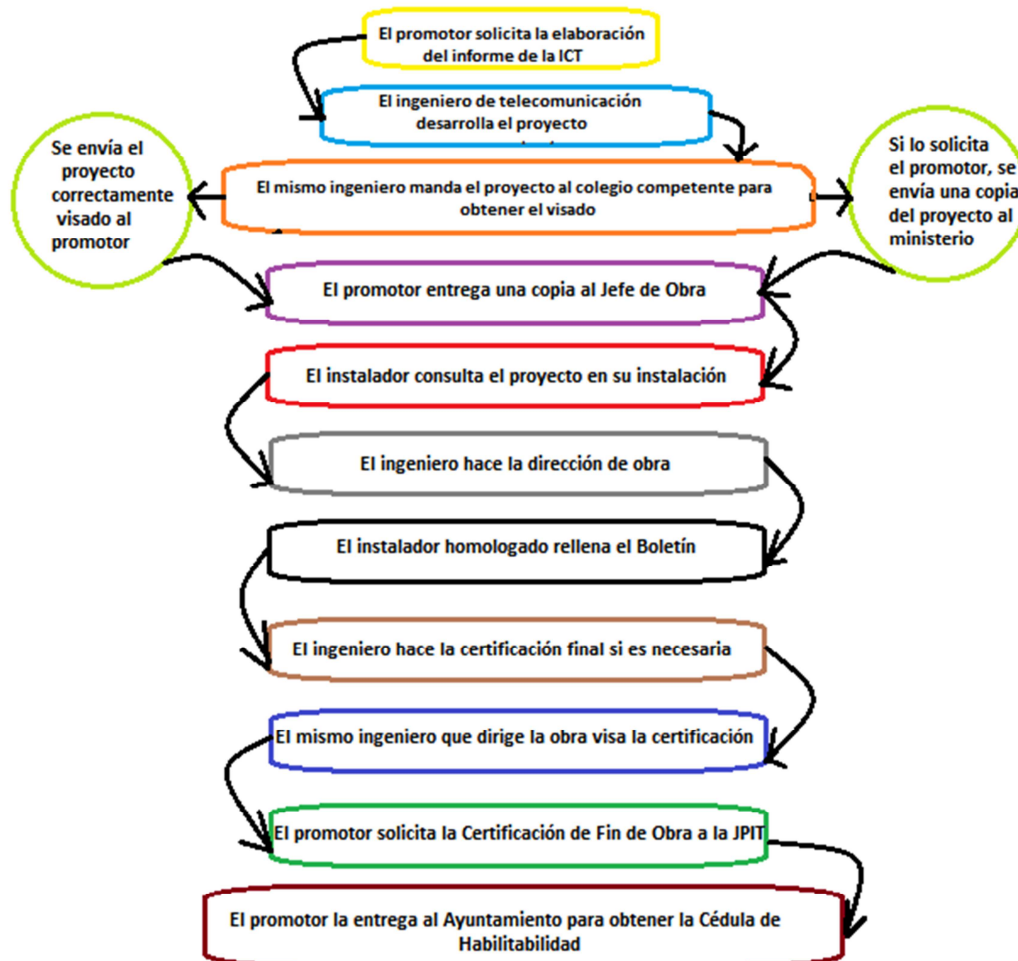


Figura 1. Proceso administrativo de una ICT

2.4 Recintos de Instalación

A continuación se explican los cuatro recintos de instalación que forman parte de una ICT [1]:

- **RITS** (Recinto de Instalación de Telecomunicaciones Superior): se encuentra en la parte superior del edificio. En él se instala el aparato de captación de la señal de televisión (nunca proporciona servicios de telefonía).
- **RITI** (Recinto de Instalación de Telecomunicaciones Inferior). Gracias a éste el bucle de abonado llega a cada vivienda. Si se conecta una antena o televisión por cable, se hace a este recinto.
- **RITU** (Recinto de Instalación de Telecomunicaciones Único). Gracias a éste el bucle de abonado llega a cada vivienda. Si se conecta una antena o televisión por cable, se hace a este recinto. Se utiliza en edificaciones de viviendas unifamiliares o en bloques de 10 o menos viviendas. En caso de viviendas unifamiliares se usa un recinto único que contiene toda la infraestructura necesaria para distribuir todos los servicios de telecomunicaciones.
- **RITM** (Recinto de Instalación de Telecomunicaciones Modular). Sustituye en funcionalidad a uno de los recintos descritos anteriormente en caso de que el tamaño de la promoción (en función del número de viviendas) lo permita.

2.5 Elementos de la ICT

Toda ICT deberá estar compuesta por una serie de elementos destinados a tratar los diferentes tipos de señales y servicios que soporta la infraestructura. Estos elementos se detallan a continuación.

2.5.1 Radiodifusión sonora y televisión

La captación y distribución de las señales de radiodifusión sonora, televisión y satélite se realiza a través de los elementos de captación, el equipamiento de cabecera y la red [1].

2.5.1.1 Elementos de captación

Son los elementos encargados de recibir las señales de radiodifusión sonora y televisión procedentes de emisiones terrenales y de satélite.

Los conjuntos captadores de señales estarán compuestos por antenas, mástiles, torretas y demás sistemas de sujeción necesarios, en unos casos, para la recepción de las señales de radio difusión sonora y de televisión procedentes de emisiones terrenales; y en otros, para las precedentes de satélite. Asimismo, formarán parte del conjunto captador de señales todos aquellos elementos activos o pasivos encargados de adecuar las señales para ser entregadas al equipamiento de cabecera.

2.5.1.2 Equipamiento de cabecera

Está constituido por el conjunto de dispositivos encargados de recibir las señales que provienen de los diferentes conjuntos captadores de señales de radiodifusión sonora y televisión y adecuarlas para su distribución al usuario en las condiciones de calidad y cantidad deseadas. Se encargará de entregar el conjunto de señales a la red de distribución.

2.5.1.3 Red

Es el conjunto de elementos necesarios para asegurar la distribución de las señales desde el equipo de cabecera hasta las tomas de usuario. Se encuentra estructurada en distintos tramos:

- **Red de alimentación:** se introduce en la ICT del edificio a través de la arqueta de entrada y de la canalización externa hasta el registro de enlace, donde se encuentra el punto de entrada general, y donde parte la canalización de enlace, hasta llegar al registro principal ubicado en el recinto de instalaciones de telecomunicación, en el cual se ubica el punto de interconexión.
- **Red de distribución:** es la parte de la red que enlaza el equipo de cabecera con la red de dispersión. Comienza en la salida del dispositivo de mezcla que agrupa las señales procedentes de los diferentes conjuntos de elementos de captación y adaptación de emisiones de radiodifusión sonora y televisión, y finaliza en los elementos que permiten la segregación de las señales a la red de dispersión (derivadores).
- **Red de dispersión:** es la parte de la red que enlaza la red de distribución con la red interior de usuario. Empieza en los derivadores que proporcionan la señal procedente de la red de distribución y finaliza en los puntos de acceso al usuario.

- **Red interior usuario:** es la parte de la red que enlaza con la red de dispersión en el punto de acceso al usuario para permitir la distribución de las señales en el interior de los domicilios o locales.

Los distintos tramos de red están separados por una serie de puntos de referencia que, aunque ya se han mencionado dentro de cada red, se explican a continuación:

- **Punto de interconexión o de terminación de red:** constituye la unión entre las redes de alimentación de los distintos operadores de los servicios de telecomunicación y la red de distribución de la ICT del inmueble. Se encuentra situado en el interior de los recintos de instalaciones de telecomunicaciones.
- **Punto de distribución:** se trata de la unión entre las redes de distribución y las redes de dispersión de la ICT del inmueble. Habitualmente se encuentra situado en el interior de los registros secundarios.
- **Punto de Acceso al Usuario (PAU):** constituye la unión entre las redes de dispersión y las redes interiores de cada usuario de la ICT del edificio. Se encuentra situado en el interior de los registros determinación de red.

2.5.2 Acceso al servicio de telefonía

La ICT deberá cumplir una serie de características técnicas para permitir el acceso al servicio de telefonía disponible al público y evitar el monopolio por parte de determinadas empresas.

Para garantizar este servicio es necesario establecer una conexión entre las Bases de Acceso Terminal (BAT) y la red de alimentación. Esta conectividad se logra a través de los diferentes tramos que se indican a continuación [1]:

2.5.2.1 Red de alimentación

Es el tramo que cubre desde la arqueta de entrada y de la canalización externa hasta el registro de enlace y de donde parte la canalización de enlace, hasta llegar al recinto de instalaciones de telecomunicación.

2.5.2.2 Red de distribución

Es la parte de la red formada por los cables multipares y demás elementos que prolongan la pared de la red de alimentación, distribuyéndolos por el inmueble, dejando disponibles una cierta cantidad de ellos en varios puntos estratégicos para poder dar servicio a cada usuario.

2.5.2.3. Red de dispersión

Es la parte de la red formada por el conjunto de pares individuales (cables acometida inferior) y demás elementos que une la red de distribución con cada domicilio de usuario.

2.5.2.4. Red de interior de usuario

Es el tramo de red formado por los cables y demás elementos que transcurren por el interior de cada domicilio.

2.5.3 Acceso al servicio de banda ancha

A través de la ICT ha de proporcionarse acceso a los servicios de telecomunicaciones de banda ancha prestados por operadores de redes de telecomunicaciones por cable, operadores del Servicio de Acceso Fijo Inalámbrico (SAFI) y otros titulares de licencias individuales que habiliten para el establecimiento y explotación de redes públicas de telecomunicaciones [1].

2.5.3.1. Red de alimentación

Es la parte de la red constituida por los cables que enlazan las centrales con el inmueble, quedando disponibles para el servicio en el punto de interconexión o distribución final de aquél. Se introduce en la ICT del inmueble a través de la arqueta de entrada y de la canalización externa hasta el registro de enlace, donde se encuentra el punto de entrada general, y de donde parte la canalización de enlace, hasta llegar al Recinto de Instalación de Telecomunicación Inferior (RITI), donde se encuentra el punto de interconexión o distribución final.

2.5.3.2. Elementos de conexión

Son los siguientes puntos de unión o terminación:

- **Punto de distribución final (interconexión):** es el punto de interconexión que sirve de unión entre las redes de alimentación de los operadores del servicio y la red de distribución de la ICT del inmueble.
- **Punto de terminación de red (punto de acceso al usuario):** de los tres puntos que se indican a continuación, y atendiendo a las condiciones contractuales entre operador y usuario, uno de ellos será considerado como punto de terminación de red de los servicios de difusión de televisión, de video a la carta, video bajo demanda o de los servicios prestados mediante acceso fijo inalámbrico:

O Punto de conexión de servicios: es el punto al que se conecta el equipamiento destinado a la presentación de las señales transmitidas al usuario de los servicios de difusión de televisión, de video bajo demanda, de video a la carta y de los servicios multimedia interactivos. Este punto estará ubicado en el interior de cada domicilio de usuario.

O Toma de usuario: es el punto al que se conecta el módulo de abonado. En caso de no existir este último, la toma de usuario coincidirá con el punto de conexión de servicios.

O Punto de conexión de una red privada de usuario: es el punto al que se conecta la red de distribución de un inmueble en el caso de que ésta no sea propiedad del operador de cable ni del operador que suministre a este último la infraestructura de la red.

Capítulo 3: IEEE802.11 - Wi-Fi

3.1. Introducción

Antes de describir las características de la tecnología Wi-Fi, es necesario situarla dentro del contexto de los estándares de IEEE.

El IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers* o Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos) constituye la mayor asociación profesional para el fomento de la innovación y excelencia tecnológicas, siendo el principal motor de impulso para la sociedad de la información en general [5]. El IEEE se inspira en una comunidad global que busca la innovación con vistas a un mejor futuro tecnológico, a través de publicaciones, conferencias, estándares tecnológicos y actividades de índole tanto profesional como educativa. El IEEE es el punto de referencia en el mundo de la ingeniería, computación y tecnologías de la información [6], por lo que actualmente todos los fabricantes desarrollan sus equipos de acuerdo con las especificaciones de estos estándares.

El proyecto 802 del IEEE es un comité y grupo de estudio de estándares que actúa sobre redes de ordenadores, en concreto y de acuerdo con su propia definición, sobre redes de área local LAN (*Local Area Network* o Red de Área Local) y redes de área metropolitana MAN (*Metropolitan Area Network* o Red de Área Metropolitana). La figura 2 muestra un esquema de la estructura de la familia de estándares 802 de IEEE.

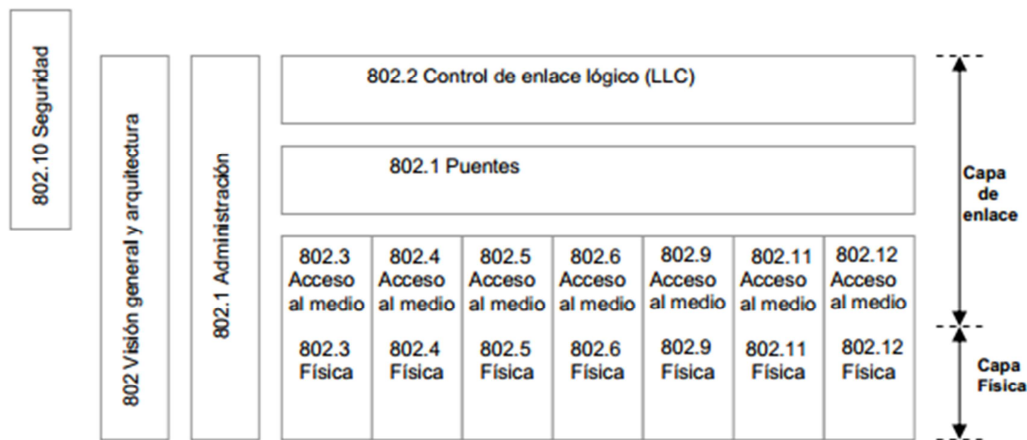


Figura 2. Familia de estándares 802 de IEEE [7]

Como puede apreciarse en la figura 3.1, dentro de la familia IEEE.802 (también conocida como IEEE802) existen varias especificaciones individuales que se identifican por medio de uno o dos dígitos. Así, por ejemplo, los estándares más conocidos dentro de esta norma son Ethernet (IEEE802.3), WiMAX (IEEE802.16) y Wi-Fi (IEEE802.11). Este último, que define la normativa para redes de área local inalámbricas, se desarrollará en el siguiente apartado.

3.2. Redes inalámbricas IEEE802.11 – Wi-Fi

La creciente necesidad de la sociedad de comunicarse de forma cada vez más rápida ha contribuido al crecimiento global y robusto de las comunicaciones inalámbricas, haciendo que el mundo haya ido tendiendo de forma vertiginosa, desde hace más de diez años, hacia un mundo móvil.

Desde la aparición de estándares como IEEE802.11 o IEEE802.16, las comunicaciones cableadas se han visto drásticamente reducidas a favor de las inalámbricas. El éxito actual de las comunicaciones inalámbricas de banda ancha se debe a la gran versatilidad de sus redes y su reducido coste de implementación.

Desde la aparición de las redes de ordenadores, se ha buscado la manera de interconectar equipos en un entorno cercano (oficina, edificio, campus, casa, etc.), de forma que se puedan establecer entre ellos comunicaciones rápidas, seguras, estables y flexibles. Las redes así definidas se denominan redes de área local o LAN. Si además son inalámbricas, se denominan WLAN (*Wireless Local Area Network* o Red de Área Local Inalámbrica). En estas redes las distancias de los equipos suelen situarse entorno a decenas o centenares de metros [5], y se trata de ámbitos generalmente privados que dan servicio a un grupo de usuarios reducido.

Así mismo, cuando los equipos están dispersos por toda una población se habla de redes metropolitanas MAN o WMAN (*Wireless Metropolitan Area Network* o Red de Área Metropolitana Inalámbrica) en el caso de ser inalámbricas. Las características de estas redes son similares a las de las redes WLAN, pero proporcionan servicio a áreas de mayor extensión.

En caso de que la red cubra más allá de los límites de la población, se habla de WAN (*Wide Area Network* o Red de Área Extensa).

Estos tipos de redes inalámbricas han de cumplir estándares genéricos aplicables también a las cableadas, pero con especificaciones adicionales que definan la utilización del espectro y garanticen la comunicación entre los diferentes equipos. Con este objetivo, en 1997 el IEEE publicó el estándar IEEE802.11, definiendo las capas física, de enlace y control de acceso al medio en las redes inalámbricas de banda ancha basadas en SS (*Spread Spectrum* o espectro expandido) [5].

Dos años más tarde, en 1999, un grupo de emprendedores se unió para formar una organización sin ánimo de lucro, con el objetivo de asegurar la compatibilidad e interoperabilidad entre los distintos dispositivos fabricados bajo este estándar. Esta organización se denominó WiFi-Alliance [5]. El programa de certificación de equipos que seguían el estándar IEEE802.11 se denominó Wi-Fi (*Wireless Fidelity* o Fidelidad Inalámbrica) y comenzó en marzo de 2000. La red local inalámbrica también se conoce comercialmente como Wi-Fi.

Las ventajas de las redes inalámbricas sobre las cableadas son múltiples, siendo quizás su precio y su flexibilidad las más importantes. Cabe destacar la rapidez y sencillez con que pueden implantarse y el incremento de movilidad que ofrecen a los usuarios, a los cuales se les permite con gran facilidad la incorporación, funcionamiento y salida de la red tantas veces como lo necesiten. Además, debido a que la infraestructura de estas redes es significativamente más reducida que la de las cableadas, las redes inalámbricas ofrecen mayor robustez ante situaciones eventuales adversas y mayor facilidad de traslado.

Sin embargo, sus principales inconvenientes son que consumen espectro inalámbrico, que es un recurso limitado; y que proveen de un ancho de banda mucho menor que las redes cableadas, especialmente cuando el número de usuarios comienza a ser considerable.

Wi-Fi ha tenido un gran éxito comercial como complemento de las redes cableadas, si bien es cierto que no puede remplazarlas [8].

3.3. Arquitectura de red

La red 802.11 está formada básicamente por cuatro componentes [5], que se muestran en la figura 3.

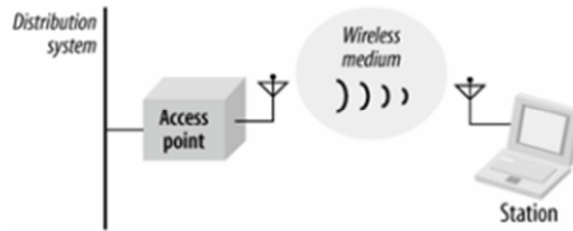


Figura 3. Componentes de una LAN 802.11 [9]

- **DS (*Distribution System* o Sistema de Distribución):** es un componente lógico de 802.11 utilizado para encaminar paquetes a sus destinos que se define para asociar varios puntos de acceso con el objetivo de constituir un área de cobertura mayor. En el estándar no se especifica ninguna tecnología concreta para el DS, pero se trata de una estructura que se tiene en cuenta para direccionar tramas a través de él como si se tratara de un *backbone*.
- **AP (*Access Point* o Punto de Acceso):** es la interfaz entre la red 802.11 y el mundo. Hacen de puentes entre la red inalámbrica y la cableada para comunicar estaciones que están conectadas al AP.
- **STA (*Station* o Estación):** son todos aquellos dispositivos con interfaces inalámbricos, como un ordenador, una PDA (*Personal Digital Assistant* o Asistente Digital Personal), un teléfono inalámbrico, etc., que hagan uso de una red Wi-Fi para transferir datos entre ellos y poder así comunicarse.
- **Wireless Medium o Medio inalámbrico:** se trata del medio que el estándar utiliza para desplazar los paquetes de una estación (STA o AP) a otra (STA o AP).

Una de las operaciones básicas de las redes 802.11 es el grupo de funcionamiento básico o BSS (*Basic Service Set* o Conjunto de Servicio Básico), consistente en un grupo de estaciones que se comunican entre sí dentro de un área determinada que está definida por las características de propagación del medio inalámbrico [5].

A partir de este concepto de BSS, surgen las siguientes alternativas y modos de comunicación [5]:

- **IBSS (*Independent Basic Service Set* o **BSS Independiente**).** No existe ningún sistema de distribución, por lo que las estaciones se comunican directamente entre ellas sin ningún intermediario. No existe conexión con otras redes. La figura 4 muestra un esquema de esta topología.

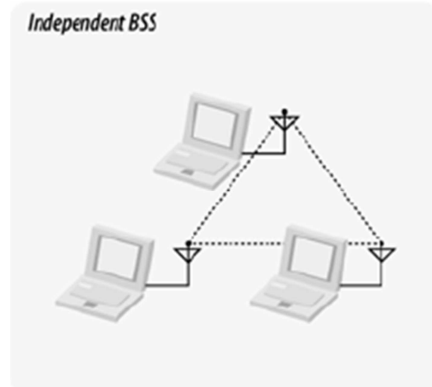


Figura 4. Esquema de un BSS independiente [5]

- **Modo Ad-hoc.** Se trata de una variante del IBSS en el cual no hay punto de acceso. Las funciones de coordinación las asume de forma aleatoria una de las estaciones presentes. El tráfico de información se lleva a cabo directamente entre los dos equipos implicados en la comunicación. La cobertura viene dada por la distancia máxima entre dos equipos, y generalmente es notablemente inferior a aquella de los modos en los que existe un punto de acceso.
- **Modo infraestructura.** El AP se encarga de las funciones de coordinación. Debido a que tiene que atravesarlo todo el tráfico, cuando dos estaciones que se encuentran dentro del mismo BSS quieren comunicarse entre sí, se produce una clara pérdida de eficiencia (los paquetes de información se envían una vez al AP y otra al destino).

La figura 5 muestra un esquema de esta arquitectura.

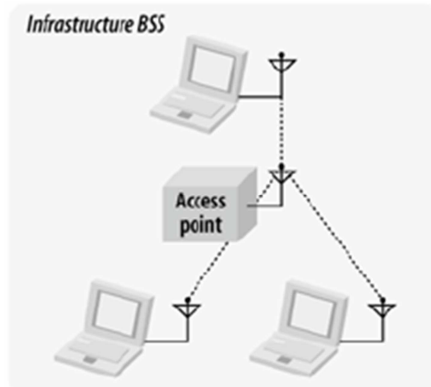


Figura 5. Esquema de un BSS en modo infraestructura [5]

Esta arquitectura es adecuada cuando la mayor parte del tráfico tiene su origen o fin en las redes exteriores a las que está conectado el punto de acceso. Es el modo que se utiliza habitualmente para conectar una red inalámbrica con redes de acceso a Internet (ADSL –*Asymmetric Digital Subscriber Line* o Línea de Abonado Digital Asimétrica-, RDSI –Red Digital de Servicios Integrados-, etc.) y redes locales de empresa.

- **ESS (*Extended Service Set* o BSS extendido).** Este caso específico del modo infraestructura se representa por un conjunto de BSS asociados a través de un sistema de distribución. Esto permite una serie de prestaciones avanzadas opcionales como el *roaming* entre zonas de cobertura. Esta situación queda reflejada en la figura 6.

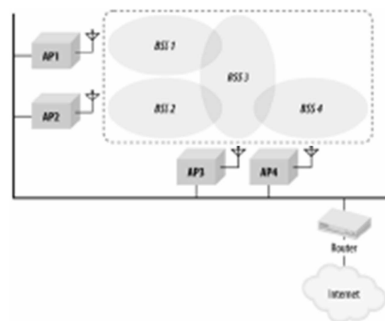


Figura 6. Servicio extendido ESS [5]

El estándar IEEE802.11 especifica los denominados **servicios** asociados a los distintos elementos de la arquitectura [5]. Los fabricantes de equipos pueden implementar estos servicios de la forma que mejor se ajuste a sus pretensiones. En total, el estándar especifica nueve servicios de red, de los cuales tres se utilizan para datos y el resto constituyen operaciones de gestión que permiten a la red seguir el rastro de los nodos y de la entrega de tramas.

Estos servicios se dividen en dos categorías:

- **SS (*Station Service* o *Servicio de Estación*)**: aquellos servicios que son parte de todas las estaciones, incluyendo APs.
 1. **Autenticación**: proporciona el control sobre el acceso a la LAN. Al no existir conexión física en una red inalámbrica, para saber si un terminal forma o no parte de la misma, es necesario comprobar su identidad antes de autorizar su asociación con el resto de la red. Así pues, este servicio es invocado por cada STA para establecer su identidad frente al resto de estaciones con las que necesita comunicarse. Puede darse en múltiples ocasiones durante el tiempo en que se produzca la conexión de la STA hacia la WLAN.
 2. **Desautenticación**: cancela una autenticación existente. Este servicio da por finalizada la conexión cuando una estación pretende desconectarse de la red.
 3. **Privacidad**: evita el acceso no autorizado a los datos gracias al uso de algoritmos de encriptación, aproximándose al nivel de seguridad que se alcanza con las redes cableadas.
 4. **Entrega de tramas MSDU (*Media Access Control Service Data Unit* o *Unidad de Datos de Servicio de Control de Acceso al Medio*)**: se invoca para hacer entrega de este tipo de tramas dentro de la misma BSS.
- **DSS (*Distribution System Service* o *Servicio de Sistema de Distribución*)**: se trata de los servicios que forman parte de un DS, accedidos vía AP.
 1. **Asociación**: debido a que las estaciones están registradas o asociadas con un AP, la entrega de mensajes entre STAs es posible. El DS puede utilizar la información de registro para determinar qué AP emplear para cada STA.

2. **Desasociación:** se invoca para dar por finalizada la asociación de una STA con un determinado AP. Es decir, cancela una asociación existente, bien porque el terminal sale del área de cobertura del punto de acceso, bien porque el punto de acceso termina la conexión.
3. **Distribución:** es el principal servicio usado por las estaciones del IEEE802.11. Lo emplean las estaciones de una red de tipo infraestructura cada vez que se realiza el envío de datos para asegurar que los datos alcancen su destino. El DS se utiliza para hacer entrega de las tramas a su destino. Todas las comunicaciones que utilizan un AP pasan a través del DSS, incluidas las comunicaciones entre dos estaciones que comparten AP.
4. **Integración:** este servicio del DS permite la conexión de sistemas DS hacia una red que no sea IEEE802.11. Su responsabilidad es hacer todo lo que sea preciso para entregar mensajes de la WLAN a cualquier equipo de la red integrada. Así pues, facilita la transferencia de datos entre la red inalámbrica IEEE802.11 y cualquier otra red.
5. **Reasociación:** transfiere una asociación entre dos puntos de acceso. Aunque la asociación es suficiente para entregar las tramas entre las estaciones Wi-Fi que no realicen cambios entre distintas BSS, la funcionalidad de este servicio es necesaria para poder soportar la movilidad entre BSS.

Cada servicio está soportado por uno o más mensajes a nivel MAC (*Media Access Control* o Control de Acceso al Medio).

Todos los servicios de IEEE802.11 que acaban de explicarse se resumen en la figura 7.

Servicio	Servicio de Estación SS o de Distribución-DSS	Descripción
Distribución	DSS	Usado en la entrega de tramas hacia un destino específico en redes de infraestructura.
Integración	DSS	Entrega de tramas de una red IEEE802.11 hacia fuera de la WLAN.
Asociación	DSS	Usado para establecer el AP que servirá de <i>gateway</i> hacia una STA particular.
Reasociación	DSS	Usado para cambiar el AP que servirá de <i>gateway</i> hacia una STA particular.
Desasociación	DSS	Terminar la asociación con el AP
Autenticación	SS	Establece la identidad de la STA (dirección MAC) para establecer una asociación.
Desautenticación	SS	Usado para terminar la autenticación existente.
Privacidad	SS	Da protección contra "espías"
Entrega de tramas MSDU	SS	Entrega de tramas hacia su destino

Figura 7. Resumen de servicios de IEEE802.11 [5]

3.4 Capas del estándar IEEE802.11

El estándar IEEE802.11, al igual que todos los de la familia IEEE802, define los protocolos de la capa física PHY (*Physical Signaling Layer* o Capa de Señalización Física) y de la capa de control de acceso al medio MAC (*Media Access Control* o Control de Acceso al Medio).

PHY es la capa que se ocupa de definir los métodos por los que se difunde la señal; mientras que MAC es la capa que se ocupa del control de acceso al medio físico. En el caso de Wi-Fi el medio físico es el espectro radioeléctrico. La capa MAC es un conjunto de protocolos que controlan cómo los distintos dispositivos comparten el uso de este espectro radioeléctrico.

Estas capas coinciden en ciertos aspectos con los dos primeros niveles del modelo de torre OSI (*Open System Interconnection* o Interconexión de Sistema Abierto), que describe una arquitectura normalizada de protocolos dividiendo las funciones en siete niveles o capas que se muestra en la figura 8.



Figura 8. Pila del modelo OSI

El primer nivel de la pila OSI es el nivel físico y trabaja con señales de radio e impulsos eléctricos, proporcionando a las capas superiores servicio de transmisión y recepción de flujo de bits. El nivel físico en IEEE802.11 se divide en dos subcapas: PLCP (*Physical Layer Convergence Procedure* o Procedimiento de Convergencia de la Capa Física) y PMD (*Physical Medium Dependent Layer* o Capa Dependiente del Medio Físico) [5].

PLCP se encarga de convertir los datos a un formato compatible con el medio físico, mientras que PMD se encarga de la difusión de la señal.

El segundo nivel es la capa de enlace y se encarga de que el físico sea seguro, además de proporcionar medios para activar, mantener y desactivar el enlace. Del mismo modo, se encarga del acceso al medio compartido, aunque su función más importante consiste en detectar errores y controlar el flujo ofrecido a las capas superiores. El nivel de enlace en IEEE802.11 se divide, a su vez, en dos subniveles: MAC, encargado del control de acceso de los datos que se transmiten, y LLC (*Logical Link Control* o Control de Enlace Lógico), que es el responsable de la sincronización de las tramas, el control de flujo y el control de errores [5]. Define cómo pueden acceder múltiples usuarios a la capa MAC.

La figura 9 muestra una comparativa de los niveles físico y de enlace en IEEE802.11 con los dos primeros niveles del modelo OSI.

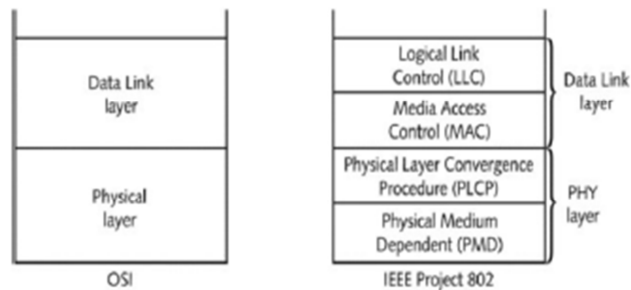


Figura 9. Comparativa entre la arquitectura de capas de protocolos de IEEE802.11 y el modelo OSI [5].

Todas las versiones del estándar definen diferentes técnicas de transmisión a nivel físico, pero todas tienen la misma capa MAC. Definiendo los mismos niveles de PHY y MAC que en Ethernet, se consiguen los mismos aspectos externos de funcionalidad para las redes Wi-Fi que para el caso de redes cableadas, de forma que toda aplicación LAN funcionará en una WLAN del mismo modo que en una Ethernet.

3.5 Técnicas de transmisión de los estándares 802.11

Las técnicas de transmisión utilizadas por el estándar IEEE 802.11 son: DSSS (*Direct Sequence Spread Spectrum* o Espectro Ensanchado por Secuencia Directa); FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum* o Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia); y OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* o Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales) [10].

Estas técnicas son técnicas de espectro ensanchado o expandido, que es la tecnología básica en la que se basa el funcionamiento de los sistemas inalámbricos. Ésta se fundamenta en el hecho de que el ancho de banda real utilizado en la transmisión es superior al estrictamente necesario para la transmisión de la información. Lo que se consigue con esto es un sistema muy resistente a las interferencias de otras fuentes de radio, resistente a los efectos de eco y que puede coexistir con otros sistemas de radiofrecuencia. Estas ventajas hacen que la tecnología de espectro expandido sea la más adecuada en las bandas de frecuencia para las que no se necesita licencia.

Además, en las primeras versión de 802.11 se utilizaba el IR (Infrarrojo) como medio de transmisión. Y en el estándar 802.11n, se utiliza una combinación de MIMO (*Multiple-Input Multiple-Output* o Múltiple-Entrada Múltiple-Salida) con OFDM.

La tabla 1 muestra las técnicas de transmisión de los estándares 802.11 más utilizados.

Tabla 1. Técnicas de transmisión de los estándares 802.11 más utilizados.

Estándar	Técnica de transmisión
802.11	FHSS, DSSS, IR
802.11b	DSSS
802.11g	DSSS y OFDM
802.11a	OFDM
802.11n	MIMO-OFDM

La figura 10 indica las características de dichas técnicas de transmisión.

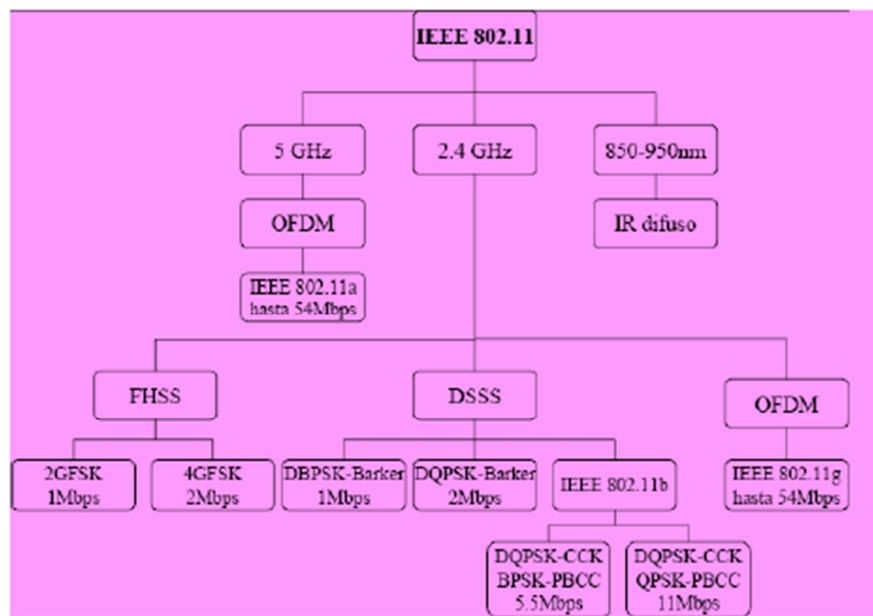


Figura 10. Características de las modulaciones empleadas por los estándares IEEE802.11 [10].

A continuación se explicarán cada una de estos medios o técnicas de transmisión.

3.5.1 IR

Este medio de transmisión se definió y utilizó para las versiones iniciales del estándar 802.11. Su espectro está comprendido entre los 850 y los 950nm, con velocidades de transmisión de 1 y 2 Mbps. La modulación utilizada es PPM (*Pulse Position Modulation* o Modulación por Posición de Pulso). Las frecuencias que se utilizan para transportar los datos son muy elevadas.

El gran inconveniente de este medio de transmisión es que los infrarrojos, como sucede con la luz, no pueden atravesar los objetos opacos, lo que obliga al emisor y receptor a tener visión directa. Así pues, en la mayoría de los casos las distancias permitidas son muy pequeñas (típicamente, las máximas oscilan entre 90cm y 1m). Así pues, su funcionalidad está extremadamente reducida, siendo totalmente inviables para usuarios móviles.

La figura 11 muestra una representación gráfica de la modulación PPM.

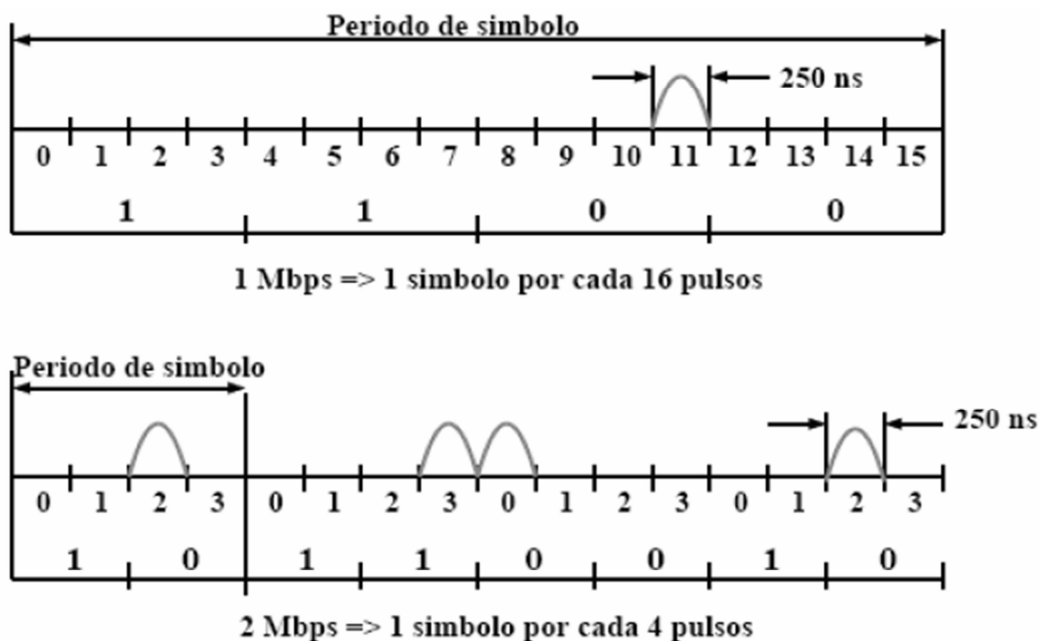


Figura 11. Representación gráfica de la modulación PPM

3.5.2 DSSS

Con esta técnica se genera un patrón de bits redundante, denominado señal o código de chips, para cada uno de los bits que forman la señal. Cuanto mayor sea la señal, mayor será su resistencia a las interferencias. El estándar IEEE 802.11 recomienda un tamaño de 11 bits, aunque el óptimo es de 100. Huelga decir que para poder obtener la información original, es necesario invertir el proceso en recepción.

La secuencia de bits que se utiliza para modular los bits se denomina secuencia de Barker (también código de dispersión o *Pseudonoise*). Se trata de una secuencia rápida diseñada para que aparezcan aproximadamente la misma cantidad de 1 que de 0. Un ejemplo de esta secuencia podría ser la siguiente: 101101110000.

Únicamente los receptores a los que el emisor haya enviado con anterioridad la secuencia podrán recomponer la señal original. Estos códigos de chips permiten a los receptores eliminar por filtrado las señales que no utilizan la misma secuencia de bits. Entre las señales eliminadas se encuentran el ruido y las interferencias. Esta secuencia proporciona 10,4 dB de aumento del proceso.

La figura 3.11 muestra una representación gráfica de la técnica de transmisión DSSS.

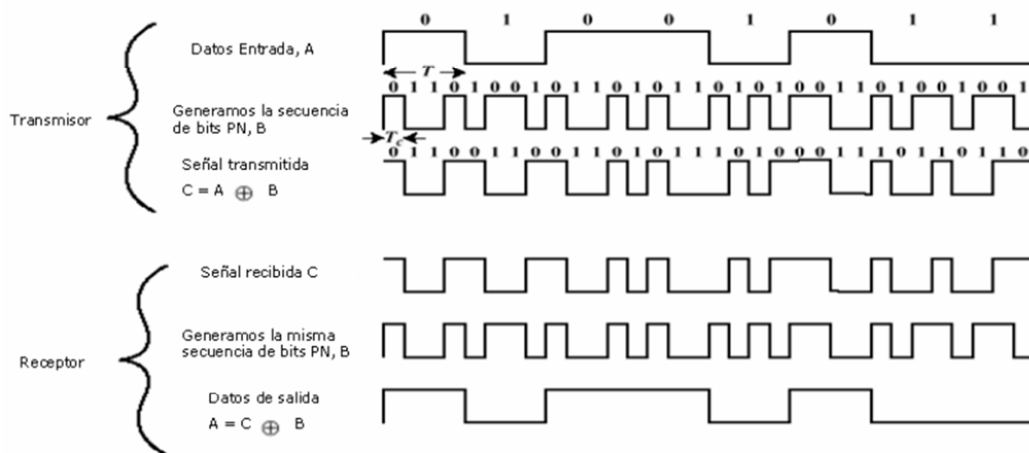


Figura 12. Representación gráfica de DSSS [10].

Una vez aplicada la señal de chip, el estándar IEEE 802.11 definió tres tipos de modulación para la técnica DSSS: la modulación DBPSK (*Differential Binary Phase-Shift Keying* o Modulación por Desplazamiento Diferencial de Fase Binario); la modulación DQPSK (*Differential Quadrature Phase-Shift Keying* o Modulación por

Desplazamiento Diferencial de Fase en Cuadratura); y la modulación CCK (*Complementary Code Keying* o Modulación por Código Complementario).

La tabla 2 muestra muestras las características de estas modulaciones.

Tabla 2. Modulaciones de DSSS

Tasa de transferencia de datos (Mbps)	Longitud de código	Modulación	Tasa de transferencia de símbolo	Bits/Símbolo
1	11 (Barker)	BPSK	1 MSps	1
2	11 (Barker)	QPSK	1 MSps	2
5,5	8 (CCK)	QPSK	1,375 MSps	4
11	8 (CCK)	QPSK	1,375 MSps	8

Tanto en Estados Unidos como en España, la banda Industrial, Científica y Médica (ICM en España e ISM –*Industrial, Scientific and Medical*- en Estados Unidos) de 2,4GHz de uso común va desde los 2400 hasta los 2483,5MHz.

La técnica DSSS podría compararse con una multiplexación en frecuencia.

3.5.3 FHSS

La técnica de espectro ensanchado por salto de frecuencia consiste en transmitir cada tramo de información en una frecuencia diferente durante un intervalo muy corto de tiempo. Este intervalo de tiempo, que se denomina *dwell time*, es inferior a 400 ms. Pasado este tiempo, se cambia la frecuencia de emisión y se sigue transmitiendo en otra frecuencia.

El orden en los saltos de frecuencia viene determinado por una secuencia pseudo aleatoria que tanto el emisor como el receptor deben conocer. Si se mantiene la sincronización en los saltos de frecuencia, se consigue que, aunque se cambie de canal físico a lo largo del tiempo, a nivel lógico se mantenga un canal único a través del cual se establece la comunicación.

Esta técnica también utiliza la zona de los 2,4GHz, en la cual se utilizan 79 canales con un ancho de banda de 1MHz cada uno. El número de saltos por segundo está regulado por cada país. Así, por ejemplo, Estados Unidos fija una tasa mínima de 2,5 saltos por segundo.

El estándar IEEE 802.11 define como modulación para este caso la modulación FSK (*Frequency Shift Keying* o Modulación por Salto de Frecuencia).

La figura 13 muestra una representación gráfica tanto en frecuencia (izquierda) como en tiempo (derecha) de la técnica FHSS.

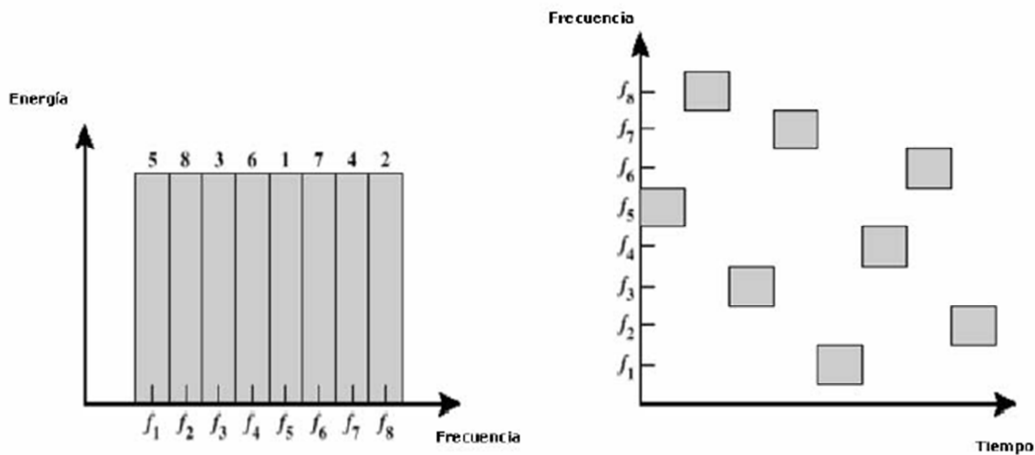


Figura 13. Representación gráfica de FHSS [10].

La técnica FHSS es equivalente a una multiplexación en frecuencia.

La técnica FHSS reduce las interferencias dado que, en el peor de los casos, la interferencia afectará exclusivamente a uno de los saltos de frecuencia, liberándose de la interferencia al saltar a otra frecuencia distinta. De este modo se consigue un número de bits erróneos extremadamente bajo.

Las principales ventajas que presenta la técnica DSSS con respecto a FHSS son que permite mayores velocidades de datos (11 Mbps y 54 Mbps); y que la itinerancia es menos complicada, ya que los sistemas FHSS siempre transmiten en un único canal.

Sin embargo, los principales inconvenientes que presenta DSSS con respecto a la técnica FHSS son el hecho de que en un área sólo pueden funcionar tres sistemas simultáneamente; la necesidad de utilizar componentes más rápidos y caros que los sistemas FHSS equivalentes; y un mayor consumo.

3.5.4 OFDM

En una comunicación inalámbrica con elevada tasa de bits es necesario un gran ancho de banda, siendo el canal susceptible a ser selectivo en frecuencia (no plano). La técnica de multiplexación por división de frecuencias divide el ancho de banda total en subcanales más estrechos que operan cada uno en diferente frecuencia y en paralelo. Eso reduce la posibilidad de desvanecimiento por respuesta no plana en cada subportadora y se consiguen velocidades de transmisión más altas. Cuando las subportadoras son ortogonales en frecuencia, se puede reducir el ancho de banda total requerido todavía más, como se muestra en la figura 14.

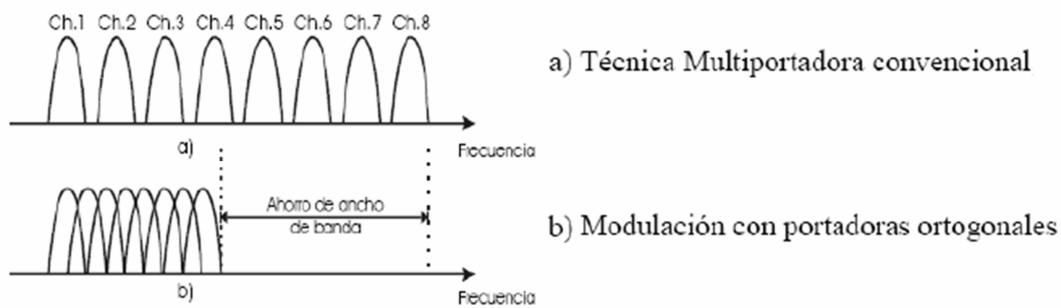


Figura 14. Representación gráfica de OFDM [10].

OFDM puede transmitir datos a distintas velocidades, utilizando distintas técnicas de modulación en cada una de ellas.

Los problemas de ISI (*Inter-Symbol Interference* o Interferencia Intersimbólica) y de ICI (*Inter-Channel Interference* o Interferencia Intercanal) se eliminan del símbolo OFDM cuando la longitud del tiempo de guarda es mayor que el máximo valor del espaciamiento del retardo. Así pues, una de las ventajas que ofrece esta técnica es la alta resistencia a las interferencias producidas por las ondas reflejadas en los objetos del entorno.

El estándar 802.11a, que utiliza la banda de 5 GHz, utiliza la técnica OFDM. En el caso de OFDM en la banda de 2,4 GHz, los canales empleados son los mismos que en el estándar 802.11b y hay que tener en cuenta que el ancho de banda del canal es de 20 MHz, con lo que sólo podrán trabajar tres canales de manera simultánea para que la interferencia no sea demasiado grande.

Las modulaciones empleadas en OFDM son las siguientes:

- BPSK (*Binary Phase-Shift Keying* o Modulación por Desplazamiento de Fase Binaria).
- QPSK (*Quadrature Phase-Shift Keying* o Modulación por Desplazamiento de Fase en Cuadratura).
- 16-QAM (*16ary Quadrature Amplitude Modulation* o Modulación de Amplitud en Cuadratura de 16 estados).
- 64-QAM (*64ary Quadrature Amplitude Modulation* o Modulación de Amplitud en Cuadratura de 64 estados).

3.5.5 MIMO

El término MIMO hace referencia únicamente a la manera en que se manejan las ondas de transmisión y recepción en las antenas de los dispositivos inalámbricos. En las formas de transmisión inalámbrica tradicionales, la señal se encuentra afectada por fenómenos de reflexión, lo que da lugar a degradación o corrupción de la misma, y en consecuencia, pérdida de datos.

La técnica MIMO utiliza fenómenos físicos como la propagación multicamino para aumentar la tasa de transmisión y disminuir la tasa de error. Es decir, utilizando el dominio espacial, MIMO incrementa la eficiencia espectral del sistema de comunicación inalámbrica.

Debido a que la tecnología MIMO incrementa notablemente la tasa de transferencia de la información utilizando diferentes canales en la transmisión de datos o la multiplexación espacial al encontrarse las antenas físicamente separadas, durante los últimos años esta tecnología ha sido fuertemente aclamada entre las comunicaciones inalámbricas.

Existen dos configuraciones para la tecnología MIMO:

- MISO (*Multiple-Input Single-Output* o Múltiple Entrada Salida Única): varias antenas de emisión y una única antena en el receptor.
- SIMO (*Single-Input Multiple-Output* o Entrada Única Salida Múltiple): una única antena de emisión y múltiples antenas en el receptor.

El estándar IEEE 802.11n, que se verá más adelante, utiliza esta tecnología para alcanzar velocidades teóricas de hasta 600Mbps, es decir, 10 veces superiores al límite teórico del estándar 802.11g, que constituye el protocolo de red inalámbrico más utilizado desde principios del siglo XXI.

Además, está prevista su utilización en los denominados terminales 4G, los cuales se han probado ya experimentalmente con éxito alcanzando tasas de transferencia de hasta 100Mbps a una distancia de 200m.

3.6 Control de acceso al medio en 802.11

El objetivo del control de acceso al medio es coordinar de la forma más eficiente posible el acceso al medio de transmisión de todas aquellas estaciones que lo comparten [5]. La capa MAC de IEEE802.11 sigue con la tendencia de los estándares previos de la familia 802, pudiendo afirmarse que ha logrado adaptar con éxito la capa MAC de Ethernet al contexto de una red radio. Esto se consigue fundamentalmente sustituyendo CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection* o Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Detección de Colisiones) por CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance* o Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Evitación de Colisiones).

La capa MAC de IEEE802.11 tiene que vencer ciertos retos derivados de la naturaleza inalámbrica de las redes Wi-Fi. Entre estos, destacan dos: el hecho de que la calidad fluctuante y no necesariamente óptima de los enlaces de radio impone un modelo confirmado de conmutación de tramas unicast; y la alta probabilidad de que las redes contengan nodos que puedan colisionar sin llegar a oírse, algo que se conoce como el fenómeno del nodo oculto, y para el cual se propone el mecanismo RTS/CTS (*Request to Send* o Petición de Envío/*Clear to Send* o Preparado para Envío) que se explicará más adelante.

IEEE802.11 describe dos modos de funcionamiento para coordinar la transferencia de datos de la capa MAC:

- **DCF** (*Distributed Coordination Function* o Función de Coordinación Distribuida): permite compartir el medio físico entre todas las estaciones de la red de forma automática utilizando el protocolo de acceso al medio CSMA/CA y un tiempo aleatorio de espera cuando el medio se encuentra ocupado. Además, tras enviar una trama a un destinatario concreto, se debe recibir un asentimiento positivo o trama ACK (*Acknowledgement* o Acuse de recibo). Si transcurre un cierto periodo de tiempo denominado *ACK_TimeOut* y no se recibe la señal ACK, la trama debe enviarse de nuevo. En caso de que el ACK llegue después de superar el tiempo *ACK_TimeOut*, ésta se ignora. La no recepción de la trama ACK se interpreta como que el paquete no ha llegado a su destino, aunque no necesariamente sucede esto, ya que la estación puede recibir la trama y producirse algún error en la transmisión o recepción de la trama ACK.

Si bien es cierto que el nivel MAC de IEEE802.11 no es ranurado, se determina una duración de ranura, denominada *aSlotTime*, cuyo valor se establece en el nivel físico. Una ranura o *slot* es cada una de las fracciones resultantes de dividir el tiempo en ranuras del mismo tamaño con instantes de inicio y fin perfectamente definidos. Así, por ejemplo, para el caso DSSS, el estándar IEEE802.11 fija un valor de 20 μ s. El valor del resto de tiempos definidos en la capa MAC se establecerá en función de la duración del *slot* (del nivel físico). A los intervalos entre tramas se los denomina IFS (*Interframe Space* o Espacio Intertrama). Para proporcionar niveles de prioridad en el acceso al medio inalámbrico en función del tipo de trama y modo de coordinación, se definen cuatro IFS distintos.

- **SIFS (*Short Inter Frame Space* o Espacio Corto Intertrama):** mínimo espacio entre tramas. Se utiliza para separar transmisiones que pertenecen al mismo diálogo cuando una estación ha conseguido ocupar el medio y necesita mantenerlo para un intercambio de tramas determinado.
- **PIFS (*Point Coordination IFS* o IFS de Coordinación de Punto):** lo utiliza el AP para conseguir el acceso al medio al inicio del periodo CFP (*Contention Free Period* o Periodo Libre de Contienda) antes de que lo haga cualquier otra estación. De este modo puede comunicar cuál es la siguiente estación a la que le corresponde transmitir.
- **DIFS (*Distributed IFS* o IFS Distribuido):** lo utilizan las estaciones que quieren transmitir tramas de datos y de control. Su valor se establece como $SIFS + aSlotTime$. Si detecta que el medio está libre y su ventana de contención ha expirado, una estación podrá transmitir tras recibir una trama correctamente, aunque no vaya dirigida a ella, una vez transcurrido un tiempo igual a DIFS.
- **EIFS (*Extended IFS* o IFS Extendido):** es el IFS más largo. Es el tiempo que una estación espera antes de intentar transmitir cuando recibe una trama que no es capaz de comprender. Se utiliza para evitar que se produzca una colisión como consecuencia de que la estación no ha entendido la información de duración de la trama.

Una de las diferencias importantes entre los medios cableados y los inalámbricos es que en estos últimos es mucho más complicado detectar las colisiones, y Éste es un importante problema con el que se encuentra el modo de funcionamiento DCF.

El protocolo CSMA/CA se ha diseñado con el objetivo de intentar reducir la probabilidad de colisión entre tramas procedentes de dos o más estaciones que se

encuentren transmitiendo al mismo tiempo. Cuando el medio se libera, dicha probabilidad es máxima, ya que las estaciones que estuviesen esperando para transmitir tratarán de hacerlo a la vez. Así pues, es necesario implementar un procedimiento por el que las estaciones esperen un tiempo aleatorio antes de volver a comprobar si el medio se encuentra libre para transmitir.

En primer lugar se escuchará el canal hasta detectar que está libre. En ese momento, la estación esperará un tiempo DIFS. Si una vez finalizado este tiempo el canal sigue libre, la STA generará un periodo adicional de espera que se denomina CW (*Contention Window* o Ventana de Contienda), cuyo valor será un número aleatorio múltiplo del tamaño del *aSlotTime*. Si durante la espera por la ventana de contienda se detecta otra trama en el medio, se congela el temporizador y no se transmite ni se continúa la cuenta atrás. Una vez quede libre el medio de nuevo, se vuelve a esperar el tiempo DIFS y se reanuda la cuenta atrás de la CW donde se detuvo. La trama se transmite cuando la CW alcanza el valor cero. Si la trama sólo tenía un destinatario (*unicast*), la STA transmisora queda a la espera de recibir su correspondiente ACK. El receptor recibe la trama y comprueba su CRC (*Cyclic Redundancy Check* o Chequeo de Redundancia Cíclica) mientras espera un tiempo SIFS y luego envía la trama ACK para confirmar. En IEEE802.11 las tramas *broadcast* y *multicast* no se confirman.

Si se produce una colisión en tramas *unicast*, el transmisor no recibe correctamente la confirmación de la trama e intenta retransmitirla hasta alcanzar un número máximo de veces. Este número, si bien es cierto que puede modificarse, por defecto es 7 para el servicio de dos tramas y 4 para tramas transmitidas mediante el servicio RTS/CTS. En cada retransmisión el tamaño de la ventana de contienda se calcula según una variable aleatoria uniforme entre (0, CW), pero el valor de CW se va duplicando a cada retransmisión hasta llegar a un valor máximo en el que se mantiene. El proceso finaliza cuando se logra transmitir la trama con éxito y se recibe confirmación; o se descarta por haberse alcanzado el número máximo de retransmisiones sin éxito. En ambos casos la siguiente trama se intenta transmitir otra vez con ventana de contienda mínima.

Cuando una trama es demasiado larga, el nivel MAC puede fragmentarla y transmitirla mediante ráfagas. En este caso el transmisor sólo espera el tiempo SIFS entre fragmento y fragmento, como se muestra en la figura 15, de forma que ninguna otra estación pueda ganar acceso al medio hasta que no termina de transmitirse y confirmarse la ráfaga completa.

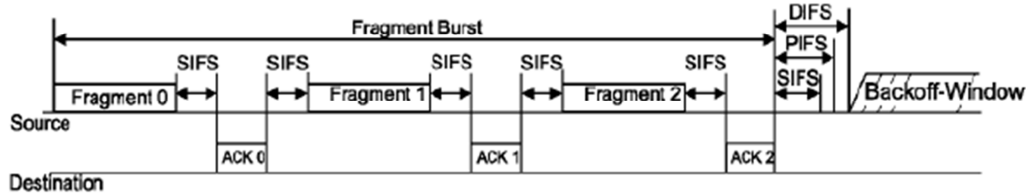


Figura 15. Transmisión fragmentada de una trama MPDU [5].

Las tramas MAC que fija el estándar IEEE802.11 son MPDU (*Message Protocol Data Unit* o Unidad de Datos de Protocolo de Mensajes) y pueden ser de tres tipos:

- **Datos:** transportan los datos entre estaciones.
- **Control:** se utilizan junto con las de datos para las operaciones de funcionamiento del nivel MAC.
- **Gestión:** sirven para diversas operaciones de supervisión y gestión de usuarios.

El estándar IEEE802.11 define dos mecanismos para conocer la disponibilidad del canal o de detección de colisión, uno físico y otro virtual. En caso de que cualquier de los dos indique que el medio está ocupado, el nivel MAC esperará a que quede libre para comenzar la transmisión.

El mecanismo físico de detección de colisión se basa en la detección real de una portadora en el medio a la frecuencia de trabajo. Es muy eficiente entre estaciones que se ven, pero no es eficaz cuando dos estaciones de una misma red que no se ven entre ellas emiten al mismo tiempo. Esto se conoce como el problema del nodo oculto.

Para evitar estos casos, se dispone del mecanismo virtual de detección de colisión, que se basa en la distribución de información anunciando el uso inmediato del canal. Este mecanismo consiste en intercambiar la información del uso del medio a través de tramas de control. A estas tramas se las conoce como RTS (*Request to Send* o Petición de Envío) y CTS (*Clear to Send* o Preparado para Envío). Cuando una estación de una red va a transmitir información, primero envía una trama RTS al punto de acceso con la siguiente información: el destinatario de la transmisión, el remitente y el tiempo que ocupará dicha transmisión.

- **PCF (*Point Coordination Function* o **Función de Coordinación de Punto**):** este modo de funcionamiento es opcional y depende de DCF para operar. Sólo se puede utilizar en topologías de red con infraestructura. Facilita un sistema para poder transmitir el tráfico que es sensible a los retardos y que requiere un tratamiento especial evitando las demoras.

Este método de acceso proporciona transferencia de tramas libre de contienda. Utiliza un PC (Punto Coordinador) que operara en el PA de la BSS para establecer qué estación tiene derecho a transmitir en cada momento. El funcionamiento se basa en sondeo o *polling*, adoptando el PC el rol de “maestro”. PCF está ideado para alternar periodos CFP con periodos de contienda, es decir, para que DCF y PCF funcionen de manera alterna.

3.7. Estándar IEEE802.11

Cuando el estándar IEEE802.11 se aprobó en 1997, se permitía trabajar con velocidades de transmisión de 1Mbps y 2 Mbps. Desde entonces y hasta la actualidad, han sido muchos los grupos de trabajo creados para mejorar las deficiencias presentes en las primeras versiones, además de mejorar algunas de sus prestaciones. Algunas de las versiones de la familia IEEE.802.11 son las siguientes:

802.11a

Esta revisión se aprobó en 1999, y emplea el mismo juego de protocolos de base que el estándar original. Opera redes inalámbricas en la banda de 5GHz y utiliza 52 subportadoras OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* o Multiplexación por División de Frecuencias Ortogonales) con una velocidad máxima de 54 Mbps, lo que lo convierte en un estándar práctico para redes inalámbricas con velocidades reales de alrededor de 20 Mbps. Tiene 12 canales sin solape, 8 para red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto. Para poder interoperar con equipos del estándar 802.11b, que se explica en el siguiente punto, es necesario contar con equipos que implementen los dos estándares.

802.11b

Tiene una velocidad máxima de transmisión de 11 Mbps y utiliza el mismo método de acceso definido en el estándar original, es decir, CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance* o Acceso Múltiple por Detección de Portadora con Evasión de Colisiones). Opera redes inalámbricas en la banda de 2,4 GHz, y debido al espacio que ocupa la codificación del protocolo CSMA/CA, en la práctica, la velocidad máxima de transmisión que puede alcanzar es de aproximadamente 5,9 Mbps sobre TCP (*Transmission Control Protocol* o Protocolo de Control de Transmisión) y 7,1 Mbps sobre UDP (*User Datagram Protocol* o Protocolo de Datagrama de Usuario).

802.11c

Especifica métodos para la conmutación inalámbrica. Se utiliza menos que los dos protocolos anteriores, y sirve para comunicar diferentes tipos de redes a través de puentes inalámbricos. Por ejemplo, puede conectar dos edificios distantes el uno con el otro.

802.11d

Se trata de un complemento del estándar 802.11 ideado para permitir el uso internacional de las redes 802.11 locales. Permite el intercambio de información por parte de distintos dispositivos en rangos de frecuencia según lo que esté permitido en el país de origen del dispositivo.

802.11e

Esta especificación ofrece un estándar inalámbrico que permite interoperar entre entornos públicos, de negocio y usuarios residenciales, añadiendo la capacidad de resolver las necesidades de cada sector. Puede considerarse como uno de los primeros estándares inalámbricos que permite trabajar en entornos domésticos y empresariales.

La especificación añade, respecto de los estándares 802.11b y 802.11a, características QoS (*Quality of Service* o Calidad de Servicio-) y de soporte multimedia, manteniendo al mismo tiempo compatibilidad con ellos. Estas prestaciones son fundamentales para las redes domésticas y para que los operadores y proveedores de servicios conformen ofertas avanzadas.

802.11f

Esta recomendación, dirigida a proveedores de puntos de acceso, permite mayor compatibilidad entre productos. Define el protocolo IAPP (*Inter-Access Point Protocol* o Protocolo de Punto de Inter-Acceso), que permite al usuario itinerante cambiarse de un punto de acceso a otro mientras está en movimiento con independencia de las marcas de puntos de acceso que formen parte de la infraestructura de la red. A esta propiedad se le conoce como itinerancia.

802.11g

Es la evolución del estándar 802.11b, y al igual que éste, utiliza la banda de 2,4 GHz. Incrementa la tasa de transmisión de datos teórica máxima a 54 Mbps, que en promedio es de 22 Mbps de velocidad real de transferencia, similar a la del estándar 802.11a. Aunque es compatible con el estándar b, la presencia de nodos bajo estándar b en redes bajo estándar g reduce notablemente la velocidad de transmisión.

Los equipos que se vendan actualmente bajo esta especificación alcanzan potencias de hasta medio vatio y permiten comunicaciones de hasta 50 Km con antenas parabólicas o equipos de radio apropiados.

Existe una variante llamada 802.11g+ con la que se pueden alcanzar hasta 108Mbps de tasa de transferencia, pero dado que utiliza protocolos propietarios, sólo funciona en equipos del mismo fabricante.

802.11h

Es una modificación sobre el estándar 802.11 para WLAN que intenta resolver problemas derivados de la coexistencia de las redes 802.11 con sistemas de radar o satélite. En esencia, pretende minimizar el impacto de abrir la banda de 5 GHz, utilizada generalmente por sistemas militares, a aplicaciones ISM (*Industrial, Scientific and Medical* o Industriales, Científicas y Médicas-).

Se trata de una extensión que busca el cumplimiento de los requisitos de los elementos reguladores europeos en la banda de los 5GHz. Se diferencia de IEEE802.11a fundamentalmente en la selección dinámica y la potencia de transmisión variable, que son obligatorias en el mercado europeo según normas del ETSI (European Telecommunications Standards Institute o Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicación).

802.11i

Está ideado para combatir la vulnerabilidad en la seguridad de protocolos de autenticación y codificación en redes Wi-Fi. El estándar abarca los protocolos 802.1x, TKIP (*Temporal Key Integrity Protocol* o Protocolo de Integridad de Claves Temporales-), y AES (*Advanced Encryption Standard* o Estándar de Cifrado Avanzado).

802.11j

Es equivalente al estándar 802.11h, pero en la regulación japonesa.

802.11k

Este estándar permite a los conmutadores y puntos de acceso inalámbricos calcular y valorar los recursos de radiofrecuencia de los clientes de una red WLAN, mejorando así su gestión. Para que el estándar sea efectivo, deben ser compatibles tanto los clientes (adaptadores y tarjetas WLAN), como la infraestructura (puntos de acceso y conmutadores WLAN).

802.11n

Esta generación de WLAN introduce tecnología MIMO y ciertas mejoras en la capa física para obtener tasas de transferencia superiores a los 100Mbps, llegando a alcanzar el límite teórico de velocidad de transmisión los 600 Mbps. Además, gracias a la utilización de tecnología MIMO, con la que se pueden utilizar varios canales a la vez para enviar y recibir datos debido a la incorporación de varias antenas, el alcance de operación de la red también es mayor.

Al contrario que las otras versiones de Wi-Fi, el estándar 802.11n puede trabajar en dos bandas de frecuencia: 2,4 GHz (la que utilizan 802.11b y 802.11g) y 5 GHz (a la que trabaja 802.11a). Por este motivo, 802.11n es compatible con dispositivos basados en todas las ediciones anteriores de Wi-Fi. Por otro lado, es una ventaja que pueda trabajar en la banda de 5 GHz, ya que está menos congestionada y en 802.11n permite alcanzar un mayor rendimiento.

802.11p

Este estándar, también denominado WAVE (*Wireless Access for the Vehicular Environment* o Acceso Inalámbrico para el Entorno Vehicular), opera en el espectro de frecuencias de 5,90 GHz y 6,20 GHz, y está especialmente indicado para el sector automovilístico, en concreto para ambulancias y coches de pasajeros.

802.11r

Su característica principal consiste en permitir a la red que establezca los protocolos de seguridad que identifican a un dispositivo en el nuevo punto de acceso antes de abandonar el actual. Gracias a esta función, la transición entre nodos sufre una demora inferior a 50 milisegundos, lapso de tiempo lo suficientemente corto como para mantener una comunicación vía VoIP (*Voice Over Internet Protocol* o Voz sobre Protocolo de Internet) sin que haya cortes perceptibles. Es decir, permite Roaming rápido entre equipos inalámbrico.

802.11v

Este estándar ha sido ideado para permitir la configuración remota de los dispositivos cliente. Esto permite una gestión de las estaciones ya sea de forma centralizada o distribuida, lo cual incluye la capacidad de la red para supervisar, configurar y actualizar las estaciones cliente. Además de la mejora de la gestión de las redes inalámbricas, las capacidades proporcionadas por este estándar se dividen en cuatro categorías: mecanismos de ahorro de energía con dispositivos de mano VoIP Wi-Fi; posicionamiento, para proporcionar servicios dependientes de la ubicación; temporización, para soportar aplicaciones que requieren un calibrado muy preciso; y coexistencia, que reúne mecanismos que reducen la interferencia entre diferentes tecnologías coexistentes en un mismo dispositivo.

802.11w

Este estándar incrementa la seguridad en la gestión de tramas protegidas.

802.11y

Se trata de una extensión para Estados Unidos que permite operar en la banda de 3650 a 3700 MHz.

Todas las versiones de 802.11xx son compatibles entre sí, de forma que el usuario sólo necesita un adaptador Wi-Fi integrado para conectarse a la red. Ésta es la principal ventaja que presenta Wi-Fi sobre otras tecnologías propietarias, tales como LTE (*Long Term Evolution* o Evolución a Largo Plazo-), UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System* o Sistema de Telecomunicación Móvil Universal) o Wimax (*Worldwide Interoperability for Microwave Access* o Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas-). Estas tres sólo son accesibles para aquellos usuarios que estén suscritos a los servicios de un operador expresamente autorizado para hacer uso de espectro radioeléctrico, mediante concesión de ámbito nacional.

Capítulo 4: Integración de red Wi-Fi en proyecto ICT

4.1 Datos Generales

A lo largo de este capítulo se diseñará una red de área local, parte cableada y parte inalámbrica bajo Wi-Fi, que pueda integrarse en las canalizaciones del proyecto ICT de un conjunto de viviendas unifamiliares. Dichas viviendas se encuentran situadas en Torralba de Calatrava, en la provincia de Ciudad Real, concretamente en la Travesía de Pozuelo de Calatrava.

El objetivo de esta red es proporcionar servicio telemático a todos los vecinos de dicho conjunto de viviendas, de forma que pueda conectar a la red cualquier ordenador o dispositivo con conexión a Internet.

En el complejo residencial existen cuatro tipos distintos de viviendas, en función del número y tipo de estancias de que dispongan, así como de la cantidad de tomas distribuidas dentro de cada vivienda. La distribución de estancias y dimensionado de cada tipo de vivienda, así como la distribución de las redes de telecomunicación y sus elementos quedan reflejados en el Anexo II incluido en este trabajo. Los puntos de entrada general al conjunto residencial se encuentran ubicados en el número 5 de la Travesía de Pozuelo de Calatrava.

En la tabla 3 se recogen los distintos tipos de vivienda existentes.

Tabla 3. Tipos de viviendas existentes en el complejo residencial

TIPO DE VIVIENDA	NÚMERO DE VIVIENDAS	ESTACIAS/VIVIENDA
1A	5	5
1B	5	5
2	3	5
3	1	4

La red de área local será cableada en su parte comunitaria; e inalámbrica y cableada en el interior de las viviendas, de forma que todos los usuarios puedan acceder a la red desde cualquier punto de las viviendas, ya sea de manera inalámbrica o a través de cable conectado a las tomas de red.

4.2 Infraestructura de la red

La red se va a sustentar sobre la infraestructura de canalizaciones prevista en el proyecto ICT del conjunto de viviendas, de la cual se aprovecharán los tubos de reserva de la canalización principal para introducir el cableado que lleva la señal a cada vivienda. El único caso en el que no se puede aprovechar la infraestructura prevista en el proyecto ICT inicial es en el interior de cada vivienda, ya que no existen canalizaciones de reserva. Por este motivo se ha decidido incorporar una nueva canalización para introducir el cable de red.

La red también consta de equipos hardware que se ubicarán en el Recinto de Instalación de Telecomunicaciones Único (RITU), en el registro de terminación de red y en el interior de cada vivienda.

En el Anexo II de este trabajo se incluyen los planos del proyecto ICT para cada tipo de vivienda. En ellos se aprecia cómo ha sido necesario añadir una canalización y un registro secundarios.

4.2.1 Topología de red

La topología de una red es la forma física en la cual los dispositivos de red se interconectan entre sí sobre un medio de comunicación. A continuación se muestra una pequeña descripción de las posibles topologías:

- **Topología de ducto o bus:** se caracteriza por usar una dorsal principal con los equipos interconectados sobre la misma. Este tipo de red es muy fácil de instalar y extender. Sin embargo, en ellas no pueden transmitir varios equipos simultáneamente y son muy susceptibles a quebraduras y cortos en el cable difíciles de encontrar.

La figura 16 muestra esta topología.

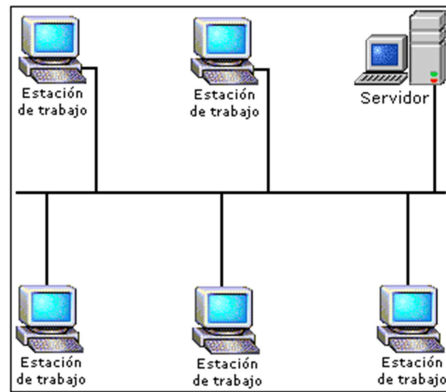


Figura 16. Topología de ducto o bus

- **Topología de anillo:** todos los dispositivos están conectados al cable de la red uno tras otro formando un círculo físico. Los equipos retransmiten los paquetes de información que reciben y los envían al siguiente.

En la figura 17 se muestra esta topología.

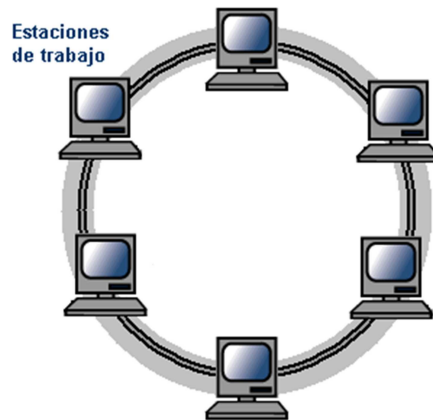


Figura 17. Topología de anillo

- **Topología de malla:** utiliza conexiones redundantes entre los dispositivos de la red. Cada dispositivo está conectado a todos los demás. Esta topología puede seguir operando si una conexión se rompe. Debido al gran número de conexiones y a la longitud del cable requeridas, son difíciles y caras de instalar.

En la figura 18 aparece esta topología.

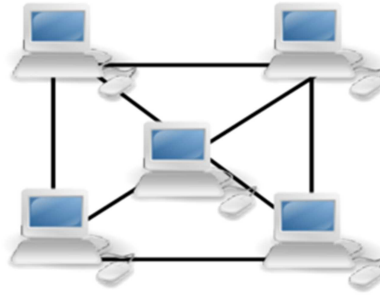


Figura 18. Topología de malla

- **Topología de árbol:** todos los dispositivos están conectados a un equipo central y la conexión entre los distintos dispositivos se realiza a través de los *hubs* que haya instalados.

La figura 19 muestra esta topología.

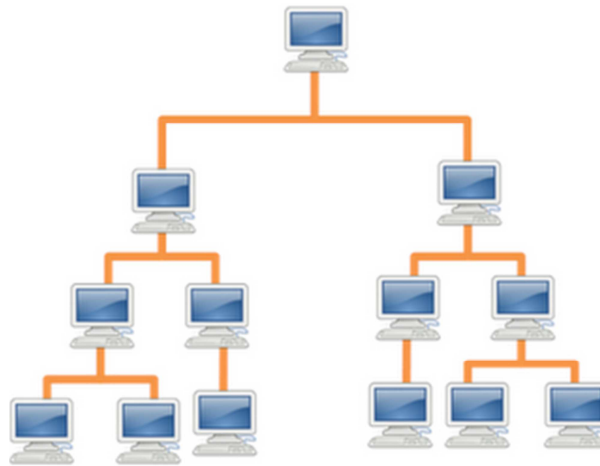


Figura 19. Topología de árbol

- **Topología de estrella:** todo el sistema se centra en la estación central a través del *hub*. Esta topología es muy fácil de expandir. Su principal problema se encuentra en el *hub*, ya que si éste sufriera una avería, todo el sistema se vería afectado.

En la figura 20 aparece esta topología.



Figura 20. Topología de estrella

La topología que se va a utilizar para el diseño de la red de área local es la topología de estrella, que permite a los usuarios disponer de portadores físicos exclusivos entre el punto de interconexión central y el dispositivo que se conecte a la red. La justificación de esta elección se explica más adelante.

4.2.2 Elementos de la red

La infraestructura de la red de área local estará constituida por los siguientes elementos:

- En el RITU estará ubicado el *switch* principal de 24 puertos Ethernet y 2 puertos Gigabit. A este *switch* es al que van a ir conectados los *switch* secundarios.
- Se utilizarán 3 *switch* de menor capacidad, de 8 puertos cada uno, para hacer una división de los diferentes grupos de viviendas en los que está dividida la urbanización: uno para el grupo este, otro para el grupo oeste y un tercero para el grupo norte.
- El cable utilizado para extender la red desde el RITU hasta cada vivienda será del tipo UTP (*Unshielded Twisted Pair* o Par Trenzado no Blindado), categoría 5, sin apantallar. Éste tipo de cable soporta velocidades de hasta 100 Mbps y permite la transmisión de datos hasta una longitud aproximada de 100 m, distancia que no se supera en ningún caso.

- En cada vivienda se instalará un *router* inalámbrico en el registro de terminación de red de forma que permita el acceso sin cables a los usuarios. De cada uno de los puertos del *router* se sacará un cable de red que irá a cada toma de red, de forma que se pueda acceder con dispositivos que no tengan posibilidades de acceso inalámbrico.
- En el caso de las viviendas de 2 plantas (todas excepto la tipo 3), se contempla la colocación de un punto de acceso inalámbrico en la primera planta a través de un *router* inalámbrico que permita una conexión de calidad sin cables en cualquier punto de la vivienda.
- En el RITU también se instalarán los *router* que proporcionarán el acceso compartido a la red Internet y cuyo número dependerá de la cantidad de líneas ADSL que se vayan a contratar en función del ancho de banda que precisen los usuarios. En un principio se han previsto dos tomas telefónicas para contratar dos líneas ADSL, aunque si se precisase más ancho de banda se podrían ampliar.

4.2.3 Dimensionamiento de la red

El inmueble consta de 13 viviendas unifamiliares de dos plantas y 1 de una planta agrupadas del siguiente modo:

- Grupo Oeste: 5 viviendas tipo 1 A
- Grupo Este: 5 viviendas tipo 1 B y 1 tipo 3
- Grupo Norte: 3 viviendas tipo 2

En el RITU estará situado el *switch* principal, del cual saldrán 3 cables hacia los *switch* secundarios de cada grupo. Para llegar a cada vivienda se extenderá un cable desde el *switch* secundario hasta el registro secundario de cada vivienda usando el tubo de reserva de la canalización principal del proyecto ICT. El número máximo de cables de red UTP que irá en el tubo será de 6 en el caso del Grupo Este, por que no habrá problema de espacio ya que el diámetro del tubo es de 40mm y el de cada cable es de 5,3mm.

Desde el registro secundario hasta el RTR (Registro de Terminación de Red) o PAU (Punto de Acceso al Usuario) no se dispone de tubos de reserva según el proyecto ICT inicial por lo que se opta por introducir una nueva canalización.

Dentro de cada vivienda, en el PAU se ubicará un *router* inalámbrico que dará servicio inalámbrico a la planta baja de la casa. Por otro lado, a los puertos Ethernet del *router* (4 puertos) se conectarán cables de red que vayan a cada toma de red de la vivienda y que permitan acceder a la red a través de cable.

Para el caso de las viviendas de 2 plantas (tipo 1A, tipo 1B y tipo 3) será necesario colocar un punto de acceso en la primera planta para que tengamos una conexión sin cables de calidad en cualquier punto de la casa. Para ello conectaremos un *router* inalámbrico en el centro de la vivienda para que se pueda acceder desde cualquier punto.

4.2.4 Estructura de distribución de la red

De las diferentes posibilidades de topología de distribución de red que se han explicado anteriormente, se ha optado por la tipo estrella. El motivo principal es que la infraestructura ICT ya diseñada posee dicha forma.

Además, este tipo de distribución recibe este nombre porque todos los equipos convergen a un concentrador o *switch*, es decir, cada equipo se conecta al *switch* con su propio cable. Debido a esto, resulta muy fácil la expansión de la red, ya que para aumentarla bastaría con aumentar el número de puertos disponibles en el *switch* o incluso una conexión en cadena de los mismos.

La comunicación entre dos máquinas es directa, y cuando se quiere establecer comunicación entre dos equipos, la información pasa por el *switch*. En el caso de producirse una rotura en alguno de los cables que conecta al equipo con el *switch*, sólo se perderá la conexión con dicho equipo, resultando muy fácil la detección y localización de la avería mediante los indicadores luminosos del *switch*.

La mayor desventaja de esta distribución consiste en la posibilidad de fallo del *switch*. Si éste falla, toda la red falla.

La tabla 4.2 muestra un resumen con la organización de todas las subredes, muy útil para posteriores ampliaciones.

Tabla 4. Organización de todas las subredes

VIVIENDAS	DIRECCION DE SUBRED	DIR. IP AP	PUERTA ENLACE DEL AP	MASCARA SUBRED	SSID	CANAL
NORTE_1	192.168.1.0	192.168.1.1	192.168.0.2	255.255.255.0	N1	1
NORTE_2	192.168.2.0	192.168.2.1	192.168.0.1	255.255.255.0	N2	2
NORTE_3	192.168.3.0	192.168.3.1	192.168.0.1	255.255.255.0	N2	3
OESTE_1	192.168.4.0	192.168.4.1	192.168.0.1	255.255.255.0	O1	13
OESTE_2	192.168.5.0	192.168.5.1	192.168.0.1	255.255.255.0	O2	12
OESTE_3	192.168.6.0	192.168.6.1	192.168.0.1	255.255.255.0	O3	11
OESTE_4	192.168.7.0	192.168.7.1	192.168.0.1	255.255.255.0	O4	10
OESTE_5	192.168.8.0	192.168.8.1	192.168.0.1	255.255.255.0	O5	9
ESTE_1	192.168.9.0	192.168.9.1	192.168.0.2	255.255.255.0	E1	4
ESTE_2	192.168.10.0	192.168.10.1	192.168.0.2	255.255.255.0	E2	5
ESTE_3	192.168.11.0	192.168.11.1	192.168.0.2	255.255.255.0	E3	6
ESTE_4	192.168.12.0	192.168.12.1	192.168.0.2	255.255.255.0	E4	7
ESTE_5	192.168.13.0	192.168.13.1	192.168.0.2	255.255.255.0	E5	8
ESTE_6	192.168.14.0	192.168.14.1	192.168.0.2	255.255.255.0	E6	1

Tanto en el *switch* principal como en los secundarios se dispondrá de un etiquetado indicador que mostrará hacia dónde parte cada una de las tomas.

4.2.5 Número de tomas

Se ha optado por llevar la canalización interior de la red paralela a la de telefonía y colocar las tomas de red en la misma ubicación donde están situadas las tomas telefónicas.

La distribución de las tomas de red se muestra en la tabla 5.

Tabla 5. Distribución de las tomas de red

Nº DE VIVIENDAS	TOMAS POR VIVIENDA	TOTAL
5 VIVIENDAS TIPO 1A	3	15
5 VIVIENDAS TIPO 1B	3	15
3 VIVIENDAS TIPO 2	3	6
1 VIVIENDA TIPO 3	2	2

4.3 Características de los elementos de la red

En el siguiente apartado se analizan las características de los diferentes elementos que constituyen la red de área local.

4.3.1 Cableado de red

El tipo de cable utilizado para el diseño de la LAN es el par trenzado, el cual está formado por dos cables de cobre aislados y trenzados entre sí. La forma helicoidal de los cables se utiliza para reducir las posibles interferencias eléctricas que pueden producir cables próximos [11].

Dentro de las diferentes opciones de cables de par trenzado, se ha escogido el tipo UTP (*Unshielded Twisted Pair* o Par Trenzado no Blindado) de categoría 5.

La figura 21 muestra un ejemplo de este tipo de cable.

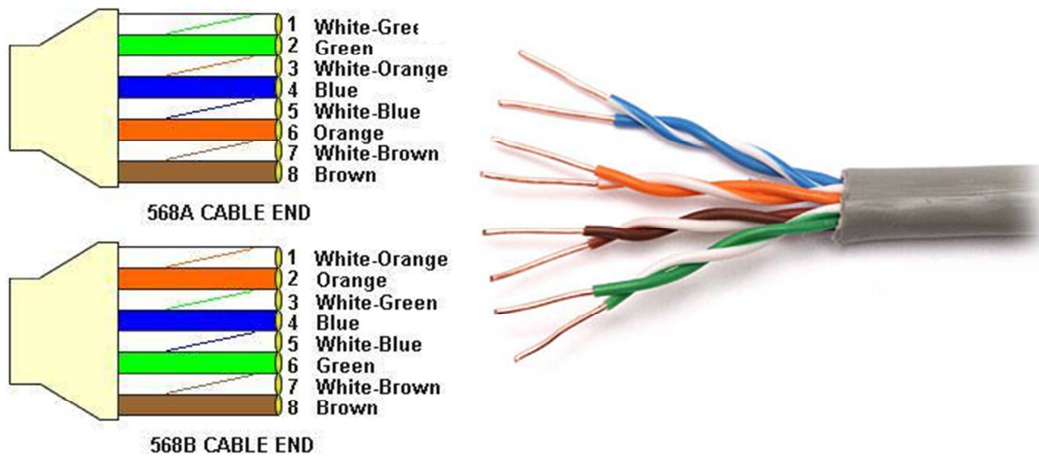


Figura 21. Cable UTP categoría 5

Éste posee cuatro pares trenzados sin apantallamiento, cuya impedancia característica es de 100Ω . De los ocho hilos disponibles, sólo se utilizan cuatro, dos de ellos para la transmisión y los otros dos para la recepción. El conector más frecuente para este tipo de cable, y el que se ha elegido para la red, es el RJ45, aunque también podrían utilizarse conectores RJ11, DB25, DB11, etc.. En la figura 22 se aprecia cómo es un conector RJ45.

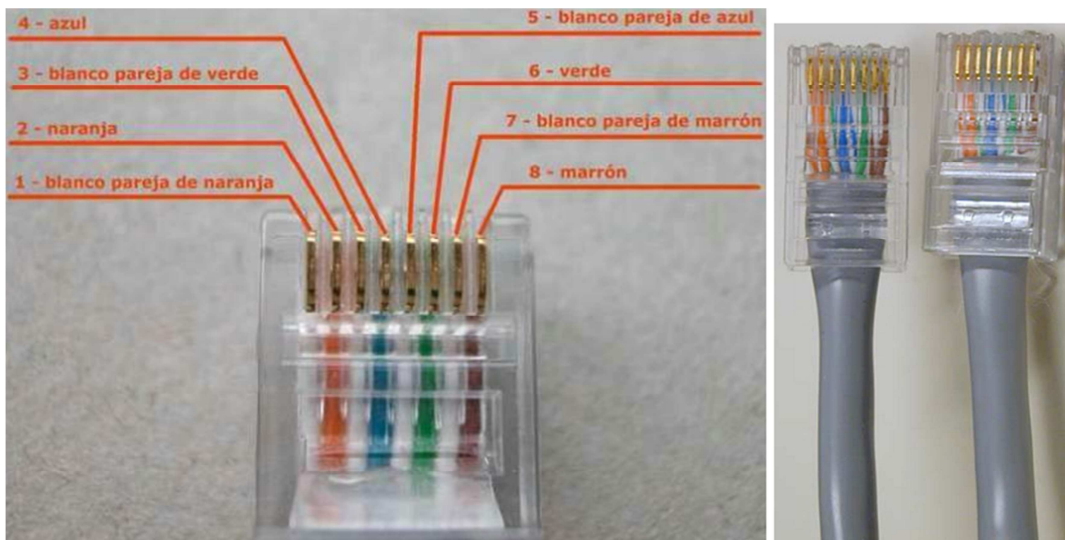


Figura 22. Conector RJ45

La tabla 6 muestra las principales características generales, físicas y eléctricas del cable UTP categoría 5.

Tabla 6. Características del cable UTP categoría 5

Generales		
Conductor		Cobre liso de 0,51 mm (24 AWG)
Aislamiento		Polietileno sólido (alta densidad)
Formación		4 pares cableados
Cubierta		P.V.C. (cordón de rasgado de Nylon)
Físicas		
Diámetro		5,3 mm (aprox.)
Peso		33,5 Kg/Km (aprox.)
Aplicación		
Cableado horizontal para transmisión de datos		
Código de color	Conductor A	Conductor B
PAR 1	Blanco	Azul
PAR 2	Blanco	Naranja
PAR 3	Blanco	Verde
PAR 4	Blanco	Marrón
Eléctricas (corregido a 20° C)		
Resistencia óhmica		93,77 Ω/Km máximo
Capacidad mutua		55,74 nF/Km máximo
Impedancia característica		100 ± 15% Ω

A pesar de que este cable presenta muy buen funcionamiento en las aplicaciones actuales, su principal inconveniente es que a altas velocidades se muestra muy vulnerable a las interferencias electromagnéticas del medio ambiente.

La figura 23 muestra una gráfica con la atenuación que presenta el cable UTP categoría 5.

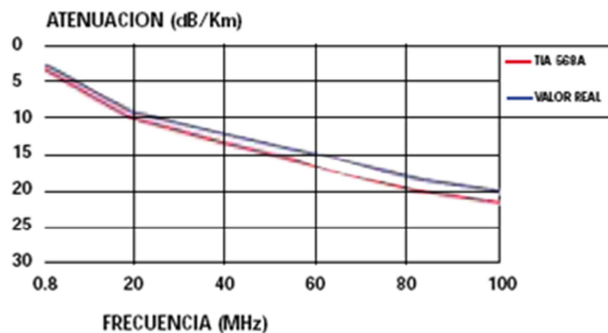


Figura 23. Atenuación del cable UTP categoría 5

Es importante que en las conexiones de las rosetas y en los latiguillos quede una mínima parte de cable sin destrenzar, pues es este trenzado (forma helicoidal) el que proporciona más inmunidad al cable UTP frente a las interferencias

4.3.2 Switch

Un *switch* o conmutador es un dispositivo electrónico de interconexión de redes de computadores que opera en la capa 2 (nivel de enlace de datos) del modelo OSI. La figura 24 muestra un ejemplo de red con topología de estrella con un conmutador en el centro.

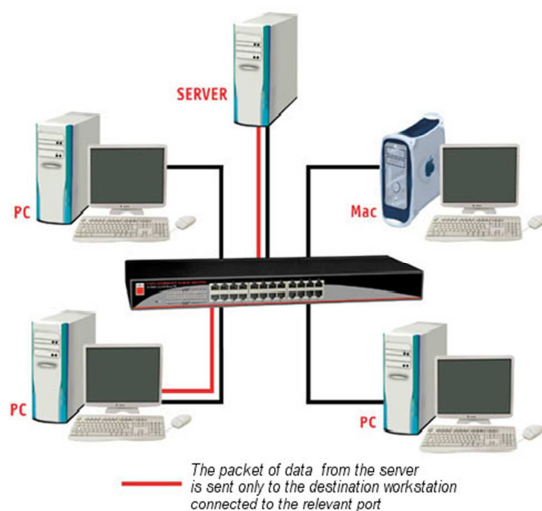


Figura 24. Red con topología de estrella con conmutador en el centro

Su misión es interconectar dos o más segmentos de red, de forma similar a los puentes de red o *bridges*, pasando datos de un segmento a otro según la dirección MAC de destino de las tramas en la red.

Los conmutadores se utilizan cuando se necesita conectar múltiples redes, fusionándolas en una sola. Del mismo modo que los puentes de red o *bridges*, mejoran el rendimiento y la seguridad de las LANs, ya que funcionan como un filtro en la red.

4.3.2.1 Switch principal

Para el diseño de la red LAN, se ha elegido un *switch* 10/100 D-LINK (DES-1026G) [12], por ser éste un modelo que se adapta a las necesidades de la red. Consta de 24 puertos 10/100Mbps más 2 puertos Gigabit Ethernet 10/100/1000Mbps.

La figura 25 muestra una imagen de este modelo de *switch*.



Figura 25. Switch 10/100 D-LINK (DES-1026G) [12]

Proporciona una atractiva combinación para soluciones Ethernet, Fast Ethernet y Gigabit Ethernet, todo de manera compacta. Resuelve los problemas de cuellos de botella hacia los servidores, extiende el tamaño de la red y mejora los tiempos de respuesta para todos los usuarios en la red.

Su arquitectura *non-blocking* o no bloqueante de la velocidad de transmisión por cable habilita un óptimo procesamiento de red a velocidad *wire-speed*, mientras el control del flujo de datos filtra los paquetes de salida erróneos, minimizando la propagación de los mismos.

Adicionalmente, los LEDs (*Light Emitting Diode* o Diodo Emisor de Luz) ubicados en la parte frontal del equipo proporcionan información fácil de leer, mostrando los diferentes estados del dispositivo, simplificando con ello los diagnósticos de posibles problemas que se presenten.

A continuación se resumen las principales características del *switch* 10/100 D-LINK (DES-1026G).

4.3.2.2 *Switch secundario*

En este caso se ha elegido un *switch* de 8 puertos modelo 10/100TX (RJ-45) D-LINK (DES-1008D) [13]. Este conmutador garantiza la flexibilidad de conexiones a 10/100Mbps. La figura 26 muestra este modelo de *switch*.



Figura 26. *Switch* 10/100TX (RJ-45) D-LINK (DES-1008D) [13]

Gracias a sus 8 puertos, el conmutador se puede destinar a grupos de trabajo de pequeñas dimensiones. Potente y fácil de utilizar, permite que los usuarios conecten un puerto de cualquier tipo a un nodo a 10Mbps o 100Mbps para multiplicar el ancho de banda, mejorar los tiempos de respuesta y soportar pesadas cargas de trabajo.

Los 8 puertos de este *switch* soportan el estándar NWay. Los puertos pueden negociar tanto la velocidad de conexión en entornos de red 10BASE-T y 100BASE-TX como el modo de transmisión *full-duplex* o *half-duplex*.

Este modelo de *switch* también posee una gama completa de LEDs de diagnóstico.

4.3.3 *Router o punto de acceso inalámbrico*

Uno *router* o enrutador de paquetes es un dispositivo que proporciona conectividad a nivel 3 o nivel de red en el modelo OSI. Su función principal consiste en enviar o encaminar paquetes de datos de una red a otra, o lo que es lo mismo, interconectar subredes o conjuntos de máquinas IP que pueden comunicarse entre sí sin utilizar un *router* (mediante *bridges*), y que por lo tanto, poseen prefijos de red diferentes.

Para el diseño de la red LAN, se ha elegido el modelo de *router* Linksys Wireless-G Broadband (WRT54GL). Wireless-G es un estándar de red inalámbrica de 54 Mbps que proporciona una velocidad casi 5 veces superior a la de los populares productos

Wireless-B (802.11b) para el hogar, oficina y establecimientos públicos con conexiones inalámbricas.

La figura 27 muestra este modelo de *router*.



Figura 27. Router Linksys Wireless-G Broadband (WRT54GL). [14]

Los dispositivos Wireless-G comparten una banda de radio común a la de los equipos Wireless-B de 11 Mbps, por lo que también funcionan con los equipos estos equipos.

El *router* de banda ancha Wireless-G de Linksys supone, en realidad, tres dispositivos en uno. En primer lugar, el punto de acceso inalámbrico, que permite conectar dispositivos Wireless-G o Wireless-B a la red. También incorpora un conmutador 10/100 de cuatro puertos dúplex completo para conectar dispositivos Ethernet con cables.

Puede conectar cuatro PCs directamente o encadenar en margarita varios concentradores y conmutadores para crear una red que satisfaga los requisitos de conexión de la red.

Por último, une todos los elementos y permite compartir una conexión a Internet DSL (*Digital Subscriber Line* o Línea de Abonado Digital) o por cable de alta velocidad en toda la red.

Para proteger los datos y la privacidad, este *router* puede encriptar todas las transmisiones inalámbricas.

También puede funcionar como servidor DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol* o Protocolo de Configuración Dinámica de *Host*) y dispone de tecnología NAT (*Network Address Translation* o Traducción de Dirección de Red) de protección contra intrusos. Además, admite paso a través de VPN (*Virtual Private Network* o Red Privada Virtual) y se puede configurar para filtrar el acceso a Internet de los usuarios internos.

En cuanto a los canales de la red, se dispone de 13 canales. Existen 14 viviendas y se considera que las viviendas que tienen 2 plantas tienen un único punto de acceso, aunque tengan un *router*-punto de acceso inalámbrico en cada planta. Por ello, habrá 14 puntos de acceso y será necesario reutilizar un canal.

Para que no se produzcan interferencias, se han distribuido los puntos de acceso como si fueran células. La distribución de las células se muestra en el Anexo I de este trabajo.

La tabla 7 muestra las principales características de este *router*.

Tabla 7. Características del *router* Linksys Wireless-G Broadband (WRT54GL)

Router Linksys Wireless-G Broadband (WRT54GL)	
Tecnología de conectividad	Inalámbrico, cableado
Conmutador integrado	Conmutador de 4 puertos
Velocidad de transferencia de datos	54 Mbps
Banda de frecuencia	2,4 GHz
Protocolo de interconexión de datos	Ethernet, Fast Ethernet, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g
Protocolo de conmutación	Ethernet
Nº de canales seleccionables	13
Indicadores de estado	Estado puerto, actividad de enlace
Filtrado	Filtrado de dirección MAC
Cumplimiento de normas	IEEE 802.3, IEEE 802.3u, IEEE 802.11b, IEEE 802.11g
Nº de antenas	2
Expansión/conectividad	1 x red - Ethernet 10Base-T/100Base-TX - RJ-45 (WAN) 4 x red - Ethernet 10Base-T/100Base-TX - RJ-45 1 x red - Radio-Ethernet
Algoritmo de cifrado	WPA (<i>Wi-Fi Protected Access</i> o Acceso Wi-Fi protegido)
Alimentación	Adaptador de corriente externa

4.3.4 Router ADSL

Se ha elegido un *router* ADSL de clase empresarial con *backup* RDSI (Red Digital de Servicios Integrados) para ubicaciones de oficinas remotas.

El modelo elegido es 3Com *Router* 3031 [15], que proporciona todos los componentes necesarios para ofrecer a las oficinas remotas y a los tele-trabajadores un acceso a Internet o a redes corporativas seguro, fiable y rentable, sobre una conexión ADSL de banda ancha, con capacidades de *backup* RDSI.

El *router* incluye un puerto de *backup* RDSI BRI S/T integrado y un *switch* de 4 puertos para conexiones locales de LAN. La DRAM (*Dynamic Random Access Memory* o Memoria de Acceso Aleatorio Dinámica) de 64 MB, la memoria flash de 8 MB y el software operativo soportan las características de *routing*, seguridad integrada y calidad de servicio que requiere hoy en día la oficina remota.

El 3Com *Router* 3031 opera sobre líneas telefónicas analógicas tradicionales POTS (*Plain Old Telephone Service* o Servicio de Telefonía Antiguo Plano), por lo que no se necesita realizar más inversiones en líneas adicionales o cableado especial. El puerto RDSI puede usarse como un puerto primario o de *backup* de la conexión ADSL de banda ancha.

La tabla 8 muestra las principales características de este *router*.

Tabla 8. Características de 3Com Router 3031

3Com Router 3031	
Puertos	Un puerto ADSL sobre POTS Un puerto de <i>backup</i> RDSI BRI S/T 4 puertos de <i>switching</i> 10/100
Interoperabilidad	Con la mayoría de proveedores de servicios ADSL.
Estándares en los que se basa	ADSL sobre POTS analógico con <i>backup</i> por marcación RDSI BRI S/T, IP, RIP v1 y v2, OSPF
Normas que cumple	ITU-T 992.1 (G.DMT), ITU-T 992.2 (G.Lite), ITU-T 994.1 (G.handshake) y ANSI T1.413 Edición 2.
Seguridad y control avanzados	VPN, <i>stateful firewall</i> , encriptación
Integración de voz y datos	QoS, <i>routing multicast</i> .

En el Anexo III de este trabajo se muestra la distribución de *routers* y *switchs* por las viviendas para constituir la WLAN diseñada.

4.4 Presupuesto

En la tabla 9 se muestra el precio de cada uno de los elementos necesarios para integrar la red Wi-Fi diseñada en el proyecto ICT. Al final se muestra un presupuesto total.

Tabla 9. Presupuesto de la integración de la red Wi-Fi en el proyecto ICT

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNIDAD	PRECIO TOTAL
1	Armario metálico para empotrar de 100x50cm con cierre de seguridad	150,00 €	150,00 €
500	Metro lineal de cable UTP Categoría 5	0,30 €	150,00 €
64	Conectores RJ45	0,23 €	14,72 €
38	Rosetas toma de red RJ45	5,20 €	197,6 €
1	Portarrótulos para <i>switch</i> 24 puertos	1,20 €	1,20 €
3	Portarrótulos para <i>switch</i> 8 puertos	1,00 €	3,00 €
2	Bolsa de 100 bridas plásticas 10 mm	0,79 €	1,58 €
2	<i>Router</i> ADSL 3Com <i>Router</i> 3031	367,59 €	735,18 €
27	<i>Router</i> inalámbrico Linksys WRT54GL con 4 puertos Ethernet	66,83 €	1804,41€
3	<i>Switch</i> D-link (Des-1008D) con 8 puertos	27,04 €	81,12 €
1	<i>Switch</i> D-link (Des-1026G) con 24 puertos	142,77 €	142,77 €
13	Registros para situar los <i>routers</i> – AP inalámbricos dentro de las viviendas.	30,00 €	390 €
220	Tubo plástico de PVC flexible (corrugado), de diámetro 20 mm, IP7.	0,46 €	101,20 €
			3772,78€
IVA (18%)			679,10€
TOTAL			4451,88€

Capítulo 5: Integración de red Wi-Fi en cable de televisión

5.1 Introducción

El objetivo de este capítulo es estudiar y valorar la posibilidad de aprovechar la infraestructura y cableado del sistema de televisión de la comunidad de vecinos para repartir la señal Wi-Fi.

5.2 Desarrollo de la idea

Como se puede observar en la figura 29, la señal Wi-Fi se introduce desde un *router* Wi-Fi (o varios, en función de las líneas contratadas) en un registro libre del cuadro de antena de televisión, y por medio de cable coaxial, se distribuye por las diferentes viviendas. Esto implica que ambas señales (televisión y Wi-Fi) viajen juntas. Para ello, sería necesario bajar la frecuencia de la señal Wi-Fi, ya que ésta se sitúa en 2,4 GHz, mientras que el cable coaxial soporta un máximo de 2,1 GHz.

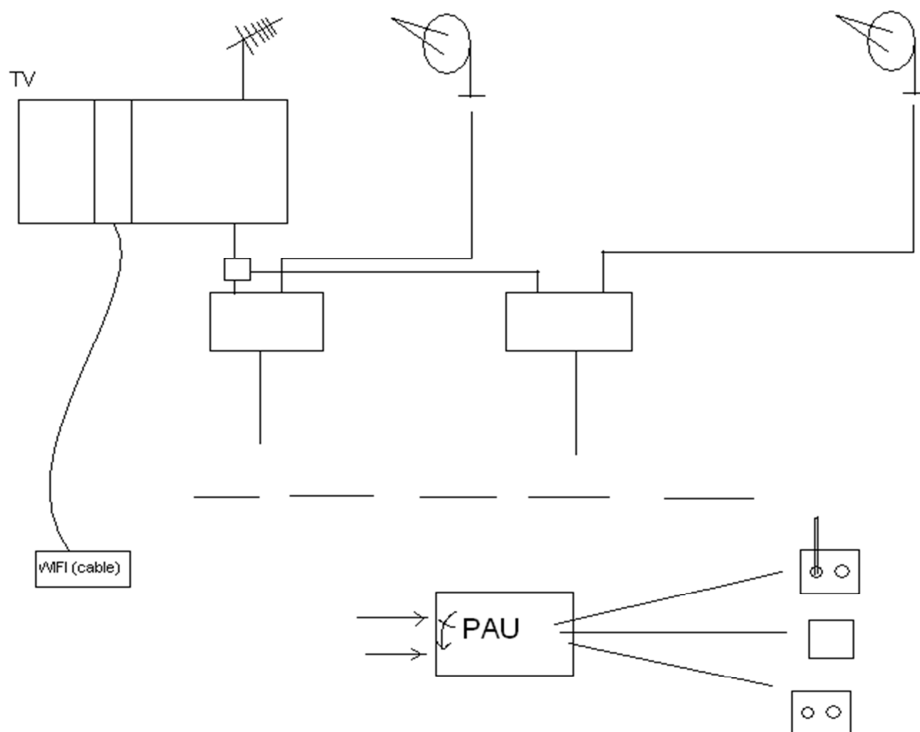


Figura 28. Integración de la señal Wi-Fí en la red de televisión

Para bajar la frecuencia, primero hay que comprobar si existe algún margen de frecuencias libre en el que quepa el ancho de banda de la señal Wi-Fi, es decir, un rango de 83,5 MHz libre. Un buen margen sería el comprendido entre las bandas III y IV, es decir, desde 216 MHz hasta 512 MHz.

Este proceso podría llevarse a cabo con un *down-converter* que bajase la frecuencia de la señal Wi-Fi al valor deseado. Una vez introducida la señal Wi-Fi a la frecuencia deseada en el sistema de cableado coaxial de TV, habría que recuperarla en cada PAU, separando la señal de TV de la Wi-Fi. Este paso se llevaría a cabo a través de un *splitter* o separador situado en cada PAU.

Una vez aislada la señal Wi-Fi, y antes de radiarla, habría que volver a situarla en su frecuencia original. Esto se haría situando un *up-converter* en cada punto al que llegase el cable coaxial por el que viajara la señal Wi-Fi.

Como ejemplo de *down-converter*, se ha analizado el modelo comercial UEK-3000 Conversor de bajada AMSAT AO-40, del fabricante SSB-Elektronik [16], que se muestra en la figura 30 y cuyas características técnicas principales se recogen en la tabla 10.



Figura 29. UEK-3000 Conversor de bajada AMSAT AO-40 [16]

Tabla 10. Características técnicas de UEK-3000 Conversor de bajada AMSAT AO-40

Figura de ruido del convertidor entero	0,7 dB
Figura de ruido de la preamplificación	0,5 dB
Factor de amplificación	32 dB
Frecuencia de entrada	2400 – 2404 MHz
IF (<i>Intermediate Frequency</i> o Frecuencia Intermedia)	144 - 148MHz o 432 - 438MHz

El precio de este dispositivo se sitúa entorno a los 395 euros.

5.3 Posible implementación con un producto comercial

A nivel comercial, existe la opción de llevar a la práctica esta idea por medio de la tecnología desarrollado por empresas como Teletronics International, que con su producto **WoCATV** hace posible implementar una red Wi-Fi en viviendas, oficinas, hoteles, etc., aprovechando el cableado de televisión.

Este sistema básicamente permite llevar y distribuir la señal Wi-Fi a través de la estructura de cable de televisión. En el caso bajo estudio, la línea Wi-Fi contratada termina en el RITU, y desde ahí se mete en un registro libre de la estructura de televisión. Ahí se conectaría a un adaptador (en este caso la propia casa suministra el modelo AP-2008b), en el cual se introduciría la señal Wi-Fi y la señal de televisión del proyecto ICT sobre el que se desarrolla esta idea. Este adaptador conduciría ambas señales hacia la red de televisión ya instalada en las viviendas, la cual las distribuiría por las diferentes estancias. Por último, en cada cuarto con toma de televisión las señales se separarían, pudiendo tanto conectar un aparato de televisión como acceder a Internet vía Wi-Fi.

En la figura 31 se aprecia un esquema de este sistema.

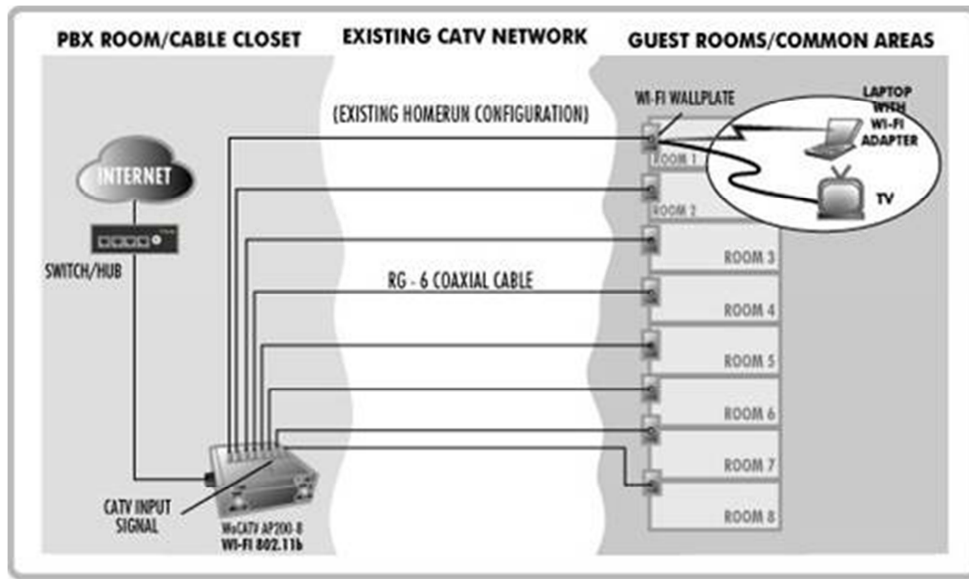


Figura 30. Esquema de la integración de red Wi-Fi en cable de televisión con un producto comercial [17]

Existen varias topologías para instalar este sistema, dependiendo de las necesidades del cliente, o más concretamente, dependiendo de la estructura del cableado de televisión en el edificio. Puede distinguirse entre topología Homerun, de Cascada, y Homerun-Cascada.

Topología Homerun

Esta topología se caracteriza porque, como puede apreciarse en la figura 32, los cables coaxiales que alimentan las habitaciones salen directamente del registro de distribución a las habitaciones.

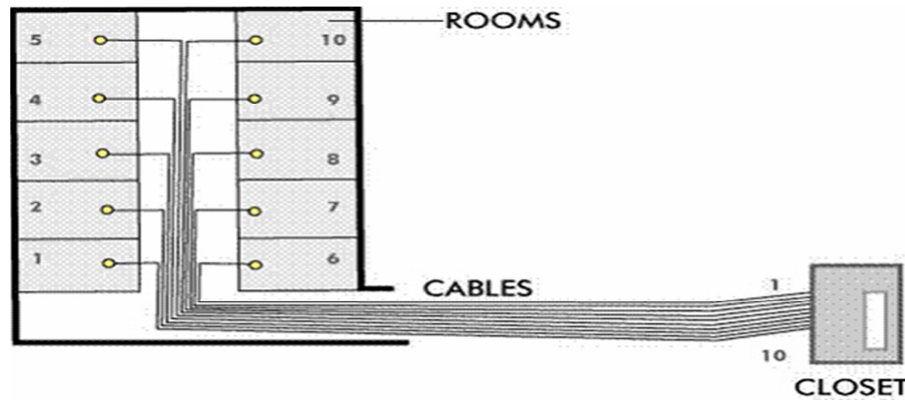


Figura 31. Topología Homerun

Topología de Cascada

En este caso, un cable alimenta todas las habitaciones por medio de divisores o *splitters*, es decir, el cable se ramifica para alimentar diferentes puntos y a su vez estos puntos alimentan las habitaciones. Esta topología se muestra en la figura 33.

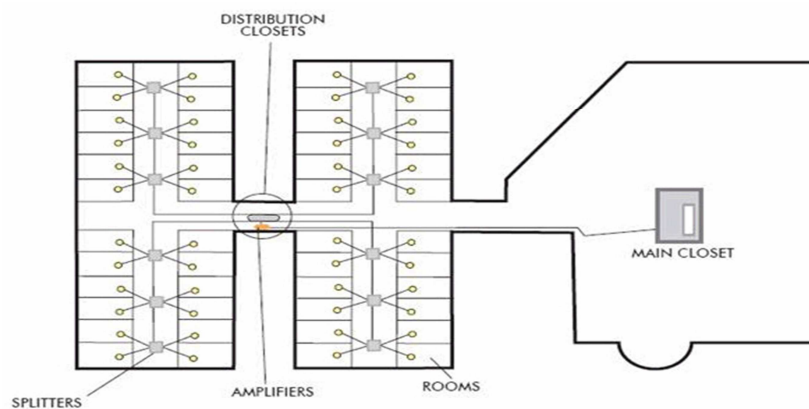


Figura 32. Topología de cascada

Topología de Homerun-Cascada

Como se aprecia en la figura 34, esta topología es un híbrido de las dos anteriores.

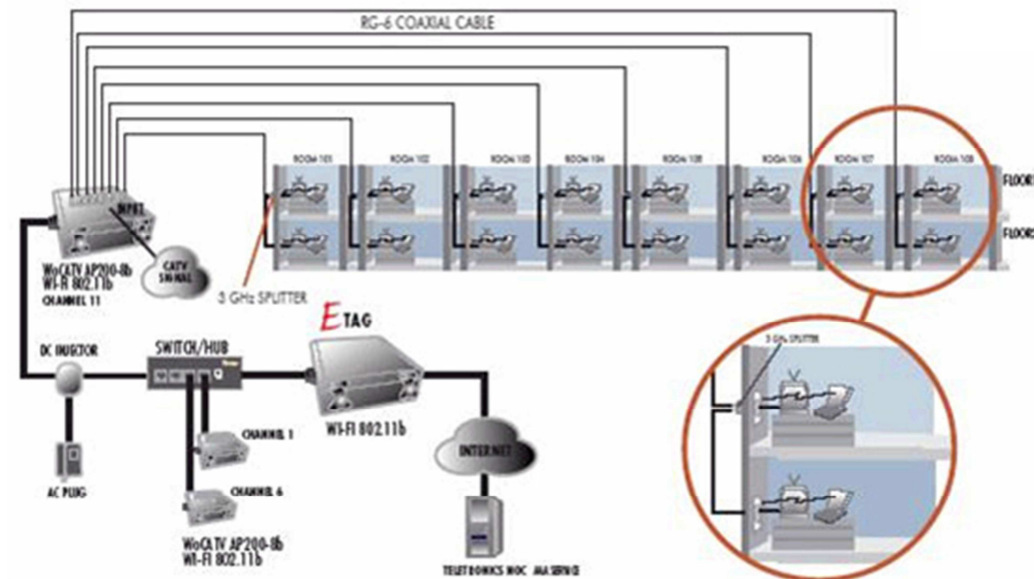


Figura 33. Topología de Homerun-cascada

5.4 Presupuesto

En la tabla 11 se desglosa el presupuesto de los elementos necesarios para integrar la red Wi-Fi en el cable de televisión con los dispositivos comerciales analizados.

Tabla 11. Presupuesto de la integración de red Wi-Fi en el cableado de televisión

CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNIDAD	PRECIO TOTAL
(*) 42	<i>Up-Converter</i>	3,11 €	130,8 €
1	<i>Down-Converter</i>	383,70 €	383,70 €
1	WoCATV	Falta	Falta
			514,5 €
IVA (18%)			92,61 €
TOTAL			607,11 €

(*) 14 Viviendas x 3 Tomas/Vivienda = 42

Capítulo 6: Hogar digital y domotización

6.1. El hogar digital en el RD 346/2011

En el **Real Decreto 346/2011, de 11 de marzo**, por el que se aprueba el Reglamento regulador de las Infraestructuras Comunes de Telecomunicaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de las edificaciones, el Hogar Digital se trata como un elemento adicional y soportado por la ICT.

A tales efectos, en el reglamento se incluye un anexo, el *Anexo V. Hogar Digital*, en el que se tratan los siguientes aspectos:

- Definición de «Hogar Digital» y sus áreas de servicios
- Instalaciones del Hogar Digital
- Servicios del Hogar Digital
- Niveles de Hogar Digital

6.1.1 Definición de «Hogar Digital» y sus áreas de servicios

En este reglamento se define el Hogar Digital de la siguiente manera [3]:

“Se define el «Hogar Digital» como el lugar donde, mediante la convergencia de infraestructuras, equipamientos y servicios, son atendidas las necesidades de sus habitantes en materia de confort, seguridad, ahorro energético e integración medioambiental, comunicación y acceso a contenidos multimedia, teletrabajo, formación y ocio.”

Además, se presenta la siguiente definición de dichas áreas o servicios:

- **Comunicaciones:** medio de transporte de la información (voz, datos o imagen) entre el usuario y los diferentes dispositivos y/o servicios, o entre diferentes dispositivos dentro del Hogar Digital.
- **Eficiencia energética:** el Hogar Digital está dotado de potencial para lograr importantes ahorros energéticos en comparación con el consumo energético que tiene lugar en el hogar convencional. Siguiendo las pautas del Código Técnico de la Edificación, se diseñará para gestionar de manera inteligente todos los posibles consumos que se produzcan en la vivienda, como la climatización e

iluminación. El consumo de energía debe estar regulado de forma tal que éste dependa del grado de ocupación de la vivienda.

- **Seguridad:** se trata de controlar, bien sea de forma local o remota, cualquier zona de la vivienda, así como toda incidencia que atente contra la seguridad del hogar, bienes y/o habitantes, como puedan ser fugas de agua o intrusiones en la vivienda. Al usuario o al centro proveedor de servicios se le informa de todos estos eventos a través de avisos o señales de alarma. La secuencia para este servicio incluye detección, aviso y, si aplica, actuación.
- **Control del entorno:** estos servicios se sustentan sobre sistemas tecnológicos gracias a los cuales es posible el control integrado de los distintos sistemas que usan los servicios generales de una vivienda, permitiendo la integración precisa para ser el medio más económico para satisfacer las necesidades de seguridad, eficacia energética y confort del usuario. Esto es, favoreciendo que la vivienda alcance el nivel máximo de:
 - Flexibilidad, es decir, que la vivienda tenga la capacidad de incorporar nuevos servicios en el futuro, así como que en el presente sea posible llevar a cabo redistribuciones, siempre sin perder el nivel de servicios ya existente.
 - Economía, que supone un uso y gestión eficaces de energías consumibles, dando lugar a ahorros significativos en los costes de explotación, mantenimiento y simplificación de estructuras.
 - Integración de datos heterogéneos de control, gestión y mantenimiento de todos los servicios y sistemas del edificio y sus infraestructuras.
 - Confort y seguridad para los ocupantes, que se traduce en ayuda, disfrute y eficacia para los mismos.
 - Comunicación eficaz en su operación y mantenimiento, con máxima automatización de la actividad y con programación del flujo de la información.

Los Sistemas de Control General de una vivienda, por su parte, han de disponer de una tecnología avanzada que sea:

- De fácil implantación y utilización por parte del usuario final.
- Segura en lo relacionado a su funcionamiento y eficacia.
- Con elevada capacidad de comunicación interna, tanto de visualización de estados como de posibilidades de actuación para el usuario, a la vez que con sus entornos exteriores.

- **Acceso interactivo a contenidos multimedia:** en el Hogar Digital ha de poderse acceder de forma interactiva a contenidos empleados para proporcionar y comunicar información, generalmente a través de un sitio Web, tales como archivos de texto, documentos, imágenes, páginas Web, gráficos y audio. En estos contenidos se incluyen datos, informaciones y entretenimiento proporcionados a los habitantes del hogar y pueden entregarse electrónicamente o en soportes físicos tales como CD, DVD, cinta magnética, libros u otras publicaciones.
- **Ocio y entretenimiento:** este servicio permite a los habitantes del Hogar Digital disfrutar de sus ratos libres de forma pasiva o interactiva, a través de contenido multimedia accesible mediante un equipo reproductor/visualizador. Este contenido puede encontrarse en el propio hogar o puede recibirse de fuentes externas, a través de una infraestructura de telecomunicaciones de banda ancha. El objetivo es dotar a los servicios de ocio y entretenimiento en el hogar de la inteligencia necesaria para que, partiendo de la información y funcionalidad que proporcionan los dispositivos digitales multimedia y la conducta social del individuo, puedan prever las necesidades de los usuarios y tomar decisiones para asistirles en las tareas diarias.

6.1.2 Instalaciones del Hogar Digital

Este reglamento especifica que para convertir la vivienda tradicional en Hogar Digital no es suficiente con dotarla de un conjunto de equipamientos que proporcionen confort, seguridad, ahorro energético, accesibilidad, etc., sino que además, para poder gestionarlos, controlarlos y aprovechar sus sinergias, es necesario que estén interconectados.

Esta gestión y control debería poder llevarse a cabo desde fuera del hogar, ya sea de forma personal o a través de empresas especializadas, aprovechando las posibilidades que ofrecen las actuales tecnologías de comunicación. Estas comunicaciones, sin ser un elemento suficiente por sí mismas, constituyen un factor imprescindible y crítico para el desarrollo de la plena potencialidad del Hogar Digital.

Así pues, el reglamento define como conceptos clave del Hogar Digital la convergencia e integración de instalaciones y dispositivos que facilitan un conjunto de servicios accesibles desde cualquier lugar gracias a las posibilidades que ofrecen las comunicaciones. Y partiendo de esta base, define la posibilidad de integrar diferentes infraestructuras y crear cada vez más servicios, dando lugar a un conjunto que constituye el Hogar Digital.

El reglamento especifica que, para que una vivienda pueda considerarse como Hogar Digital, además de contar con las infraestructuras desplegadas en la propia ICT, deberá incluir las siguientes infraestructuras necesarias:

- **Red de área doméstica ampliada:** a partir del cableado estructurado instalado en el interior de la vivienda.
- **Red de Gestión, Control y Seguridad (RGCS):** red de datos adicional que presta soporte a los servicios específicos del Hogar Digital. Puede ser parcialmente soportada por otros medios de transmisión además del cableado.
- **Pasarela residencial:** para la interconexión de las redes internas del hogar con las exteriores y la inclusión de inteligencia en el hogar.

6.1.3 Servicios del Hogar Digital

En el Anexo V del reglamento también se detallan los servicios que integran cada uno de los grupos anteriormente definidos, haciendo una clasificación de cada uno de ellos dentro del área que se considera más relacionada, aunque también tienen significación dentro de otros grupos:

- **Seguridad**
 - Alarmas técnicas de incendio y/o humo
 - Alarmas técnicas de gas (si existe)
 - Alarmas técnicas de inundación (zonas húmedas)
 - Alarmas de Intrusión
 - Alarma Pánico SOS
 - Control de accesos: vídeo – portero
 - Control de accesos: tarjetas proximidad
 - Videovigilancia
 - Teleseguridad: Central Receptora de Alarmas
- **Control del entorno**
 - Simulación de presencia
 - Telemonitorización
 - Telecontrol
 - Automatización y control de toldos y persianas
 - Creación de ambientes
 - Control de temperatura y climatización

- Diagnóstico y mantenimiento remoto
- **Eficiencia energética**
 - Gestión de dispositivos eléctricos
 - Gestión de electrodomésticos
 - Gestión del riego
 - Gestión del agua
 - Gestión de circuitos eléctricos prioritarios
 - Monitorización de consumos
 - Control de consumos
 - Control de iluminación
- **Ocio y entretenimiento**
 - Radio difusión sonora (AM, FM, DAB)
 - Televisión digital terrestre
 - Televisión por satélite/cable
 - Vídeo bajo demanda (VOD –Video On Demand-)
 - Distribución multimedia/*multiroom*
 - Televisión IP
 - Música on-line
 - Juegos on-line
- **Comunicaciones**
 - Telefonía básica
 - Acceso a Internet con banda ancha
 - Red de Área Doméstica (Cableado UTP Categoría 6)
 - Telefonía IP
 - Videotelefonía
- **Acceso interactivo a contenidos multimedia**
 - Tele-asistencia básica
 - Videoconferencia
 - Tele-trabajo / tele-educación

6.1.4 Niveles de Hogar Digital

En el Anexo V del reglamento se incluye una clasificación de Hogar Digital atendiendo a tres niveles distintos que se definen a partir de los servicios implantados en la

vivienda. Así pues, un Hogar Digital, dependiendo de su nivel, tendrá un mínimo de servicios implantados.

La tabla 12 muestra dicha clasificación en Hogar Digital alto, medio y básico.

Tabla 12. Puntuación de niveles de Hogar Digital [3]

TABLA PUNTUACIÓN NIVELES HOGAR DIGITAL							
Servicios	Seguridad	Control del Entorno	Eficiencia Energética	Ocio y Entretenimiento	Comunicaciones	Acceso Interactivo a Contenidos Multimedia	Puntuación Total
Hogar digital alto	50	40	50	25	25	10	200
	45	40	45	15	25	10	180
Hogar digital medio	40	35	40	10	20	5	150
	35	30	30	10	20	5	130
Hogar digital básico	15	25	25	10	20	5	100
	15	15	15	10	20	5	80

Para alcanzar cada uno de los tres niveles, el hogar debe disponer de un número mínimo de servicios y cubrir todas las áreas o grupos de servicios.

Para entender esta tabla, puede tomarse como referencia el caso de Hogar Digital básico con una puntuación total de 100 puntos. En este caso, se ha concedido a la seguridad un 15% de la puntuación total; al control del entorno un 25%; a la eficiencia energética un 25%; al ocio y entretenimiento un 10%; a comunicaciones un 20%; y a acceso interactivo a contenidos multimedia un 5%.

El Hogar Digital básico también puede alcanzarse con una puntuación total de 80 puntos. En este caso, tanto a seguridad, como a control del entorno y a eficiencia energética se les ha concedido un 15% de la puntuación total; a ocio y entretenimiento un 10%; a comunicaciones un 20%; y a acceso interactivo a contenidos multimedia un 5%.

Del mismo modo se pueden evaluar los niveles de Hogar Digital medio y alto.

6.2. Domotización

El término domótica procede del término latín “domus”, que significa ‘casa’; y del término “tica”, de la palabra griega “automática”, cuyo significado es ‘que funciona por sí sola’. Por domótica se entiende al conjunto de sistemas con capacidad para automatizar una vivienda, proporcionando servicios de gestión energética, seguridad,

bienestar y comunicación, y que pueden integrarse a través de redes interiores y exteriores de comunicación, cableadas o inalámbricas, y cuyo control posee cierta ubicuidad, desde dentro y fuera del hogar [4]. Por tanto, se podría definir como la integración de la tecnología en el diseño inteligente de un recinto.

Así pues, el Hogar Digital descrito en los apartados anteriores se sustentan sobre la domótica, siendo ésta una tecnología diseñada y programada para facilitar a sus habitantes una mayor calidad de vida a través del cumplimiento de cuatro objetivos principales que se detallan en los siguientes apartados.

6.2.1 Mayor nivel de confort

Para alcanzar este objetivo, el sistema facilita al usuario una serie de comodidades gracias al control automático de los servicios de iluminación, calefacción, aire acondicionado, agua caliente, etc., y a la gestión de alarmas, persianas, toldos, ventanas, riego automático, programación horaria, visualización, y en general, automatización de la instalación eléctrica.

6.2.2 Aumento de la seguridad de bienes materiales y personas

Al poder controlar elementos que aportan tanto seguridad activa como pasiva, el sistema puede garantizar una seguridad más amplia en hogares y edificios. De este modo, se protege tanto bienes como personas a través de controles de intrusión y presencia, simulaciones de presencia, etc.; y simultáneamente, los espacios quedan protegidos frente a incidentes y averías, a través de sensores que detectan incendios, fugas de agua o gas y averías en general, pudiendo desviar las alarmas al lugar deseado.

6.2.3 Ahorro energético

A través del uso de temporizadores, programaciones de horarios, termostatos, detectores, etc., el sistema gestiona el consumo de energía, pudiendo aprovechar también la tarifa nocturna. Con todo, se logra un uso más racional y ajustado de la energía, y en consecuencia, un importante ahorro económico.

6.2.4 Nuevas facilidades de comunicación

A través de diferentes interfaces, el sistema puede interconectarse con varios canales de comunicación, pudiendo de esta forma, por ejemplo, controlar ciertos dispositivos desde un teléfono. Además, la tecnología avanzada del sistema permite su conexión remota vía Internet u otros medios.

Toda esta gestión posibilita un control más cómodo y seguro, tanto desde el interior como el exterior de los edificios y viviendas, proporcionando una mayor libertad de horarios y eliminando la necesidad de personal que active y desactive los dispositivos de forma rutinaria.

Capítulo 7: Conclusiones

7.1. Conclusiones

Con la elaboración de este trabajo se ha llegado a una serie de conclusiones que a continuación se detallan:

- Con el proyecto ICT no sólo se facilita el acceso a las nuevas tecnologías desde el interior del hogar, sino que además se deja las puertas abiertas a nuevas infraestructuras de red para que, añadiendo las canalizaciones y dispositivos pertinentes, sea posible implementar nuevas redes de comunicación de forma económica. Este es el caso de la red Wi-Fi diseñada en este proyecto, cuyo presupuesto no supone un desembolso monetario importante teniendo en cuenta que lo asumiría toda la comunidad de vecinos, así como los grandes beneficios que se obtendrían con esta red a corto, medio y largo plazo.
- En el mercado actual existen productos que podrían utilizarse para implementar redes Wi-Fi aprovechando las propias canalizaciones del proyecto ICT, sin añadir ninguna canalización adicional. Este es el caso del dispositivo presentado en este trabajo con el cual sería posible aprovechar las canalizaciones de televisión para implementar la red. Sin embargo, a día de hoy no hay constancia de que este tipo de productos se hayan implementado para tal fin, y considerando el ahorro en infraestructura que supondrían, sería interesante estudiar sus posibilidades en la práctica.
- Desde que en 1997 se aprobara el estándar IEEE802.11, la tecnología Wi-Fi no ha parado de evolucionar, apareciendo nuevas versiones especializadas en diferentes campos o tipologías de red inalámbrica, y mejorando sus prestaciones. Así pues, considerando que todavía se sigue investigando en ella, es fácil pensar que se alcanzarán velocidades de transmisión mucho mayores a las máximas actuales.
- El *Anexo V. Hogar Digital* del **Real Decreto 346/2011, de 11 de marzo**, por el que se aprueba el Reglamento regulador de las Infraestructuras Comunes de Telecomunicaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de las edificaciones, supone la inclusión por primera vez de este concepto en una normativa que regula las IICCTT. De esta forma, se abre la puerta a una nueva forma de vivienda sobre la que se ha investigado y en la

que se ha trabajado a lo largo de la última década, pero que no se había legislado antes de forma alguna. Así pues, se marca un punto de inflexión entre la era en la que se buscaba facilitar el acceso a las nuevas tecnologías desde el interior de la vivienda, y la era en la que además de eso, se busca la accesibilidad para todos los habitantes de la vivienda, adaptando la misma a las características personales de cada uno y buscando la mejora de la calidad de vida de todos ellos.

7.2 Trabajo futuro

En este trabajo se ha estudiado la posibilidad de aprovechar la infraestructura y el cableado del sistema de televisión de la comunidad de vecinos de un conjunto de viviendas para establecer una red Wi-Fi. Para tal fin, se ha planteado la utilización de una serie de productos comerciales existentes en el mercado cuyas características se han analizado, concluyendo que son válidos para el diseño de la red Wi-Fi.

Así pues, como posible trabajo futuro, podría implementarse sobre un laboratorio una infraestructura a partir de dichos dispositivos. De esta forma podrían hacer pruebas con equipos de medida y comprobar si realmente la señal Wi-Fi puede transmitirse con calidad suficiente cuando viaja por el cableado de televisión.

Referencias

- [1] Ortas Pérez, Antonio. *Infraestructura Común de Telecomunicaciones para urbanización de 12 viviendas unifamiliares con WIFI comunitario y sistema de seguridad por video-vigilancia IP*. Proyecto Fin de Carrera ETSIT-UPC, 2009 [disponible on-line: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/handle/10317/957>], consultado en marzo de 2012

- [2] Guerrero Hernández, Evaristo. *Desarrollo de un método docente para el aprendizaje de la realización de proyectos ICT y domótica*. Proyecto Fin de Carrera ETSIT-UPC, 2009 [disponible on-line: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/handle/10317/1342/>], consultado en marzo de 2012

- [3] *Real Decreto 346/2011, de 11 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento regulador de las infraestructuras comunes de telecomunicaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de las edificaciones* [disponible on-line http://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2011-5834], consultado en abril de 2012.

- [4] Fusté Gaspar, Meritxell. *Proyecto de instalación ICT y domotización de una vivienda unifamiliar*. Trabajo Fin de Carrera EPSIT – UPC, 2008 [disponible on-line: <http://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/5403>], consultado en abril de 2012.

- [5] Espinoza Avalos, Sandra Paulina. *Estudio de viabilidad técnica y económica para la migración de red WIFI a WIMAX en entornos rurales*. Proyecto Fin de Carrera ETSIT - UPM, 2010 [disponible on-line: http://oa.upm.es/7395/1/PFCD_WIFI-WIMAX_SandraEspinoza.pdf], consultado en abril de 2012.

- [6] IEEE-Institute of Electrical and Electronic Engineers. *The world's leading professional association for the advancement of technology* [disponible on-line: <http://www.ieee.org/web/aboutus/home/index.html>], consultado en abril de 2012.

- [7] Gil Bailén, José Ignacio. *Técnicas QoS para la DCF en IEEE 802.11: Prioridades basadas en señales de atasco*. Proyecto Fin de Carrera

- ETSII-UV, 2006 [disponible on-line: <http://informatica.uv.es/~fmico/OPNET/Memoria%20Proyecto%20Final%20Gil.pdf>], consultado en abril de 2012.
- [8] Simo Reigadas, Francisco Javier. *Redes Inalámbricas de Área Local IEEE802.11*. Universidad Rey Juan Carlos, Depto. de Teoría de la Señal y Comunicaciones, 2007 [disponible on-line: <http://es.scribd.com/doc/56654176/19/Redes-Inalambricas-de-Area-Local-IEEE-802-11b>], consultado en mayo de 2012.
- [9] Gast, Matthew. *802.11 Wireless networks: The definitive guide*. O'Reilly, 2005.
- [10] López Barnés, Rodrigo. *Red basada en acceso inalámbrico (WiFi & WiMAX)*. Proyecto Fin de Carrera EPS-UAM, 2008 [disponible on-line: <http://arantxa.ii.uam.es/~jms/pfcsteleco/lecturas/20080409RodrigoLopez.pdf>], consultado en mayo de 2012.
- [11] *Cable 5e* [disponible on-line: <http://www.urbe.edu/info-consultas/web-profesor/12697883/articulos/Redes%20Informaticas/UTP5E.pdf>], consultado en mayo de 2012.
- [12] Información comercial de *switch 10/100 D-LINK (DES-1026G)* [disponible on-line: http://dlink.es/cs/Satellite?c=Product_C&childpagename=DLinkEurope-ES%2FDLProductCarouselMultiple&cid=1197319226737&p=1197357768092&packedargs=ParentPageID%3D1197337625381%26locale%3D1195806681347&pagename=DLinkEurope-ES%2FDLWrapper], consultado en mayo de 2012.
- [13] Información comercial de *Switch 10/100TX (RJ-45) D-LINK (DES-1008D)* [disponible on-line: <http://www.pixmania.com/es/es/54362/art/d-link/switch-ethernet-8-puertos.html>], consultado en mayo de 2012.
- [14] Información comercial de *Router Linksys Wireless-G Broadband (WRT54GL)* [disponible on-line: [http://www.google.es/products/catalog?hl=es&rlz=1T4ADRA_esES426ES432&q=router+Linksys+Wireless-G+Broadband+\(WRT54GL\).&um=1&ie=UTF-8&tbm=shop&cid=6011596328738966096&sa=X&ei=TAYfUNO6JI2AhQfjs4DwBg&ved=0CGMQ8wIwAQ](http://www.google.es/products/catalog?hl=es&rlz=1T4ADRA_esES426ES432&q=router+Linksys+Wireless-G+Broadband+(WRT54GL).&um=1&ie=UTF-8&tbm=shop&cid=6011596328738966096&sa=X&ei=TAYfUNO6JI2AhQfjs4DwBg&ved=0CGMQ8wIwAQ)], consultado en mayo de 2012.

- [15] Información comercial de 3Com *Router* 3031 [disponible on-line: <http://www.retrevo.com/support/3Com-3031-Routers-manual/id/2784ci966/t/2/>], consultado en mayo de 2012.

- [16] Información comercial de UEK-3000 Conversor de bajada AMSAT AO-40 [disponible on-line: <http://www.hed-radio.com/de/manufacturers.html?mnf=9>], consultado en mayo de 2012.

- [17] Información comercial de WoCATV [disponible on-line: <http://www.teletronics.com/hotspot.html>], consultado en mayo de 2012.

Bibliografía

Real Decreto-ley 1/1998, de 27 de febrero, sobre infraestructuras comunes en los edificios para el acceso a los servicios de telecomunicación [disponible on-line: http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/rdl1-1998.html], consultado en junio de 2012.

Ley 49/1960, de 21 de julio, sobre Propiedad Horizontal [disponible on-line: http://noticias.juridicas.com/base_datos/Privado/lph.html], consultado en junio de 2012.

Ley 8/1999, de 6 de abril, de Reforma de la Ley 49/1960, de 21 de julio, sobre Propiedad Horizontal [disponible on-line: <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1999-7858>], consultado en junio de 2012.

Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación [disponible on-line: <http://www.boe.es/boe/dias/1999/11/06/pdfs/A38925-38934.pdf>], consultado en junio de 2012.

Real Decreto-ley 1/1998, de 27 de febrero, sobre infraestructuras comunes en los edificios para el acceso a los servicios de telecomunicación [disponible on-line: http://noticias.juridicas.com/base_datos/Admin/rdl1-1998.html], consultado en junio de 2012.

Real Decreto 401/2003, de 4 de abril, por el que se aprueba el Reglamento regulador de las infraestructuras comunes de telecomunicaciones para el acceso a los servicios de telecomunicación en el interior de los edificios y de la actividad de instalación de equipos y sistemas de telecomunicaciones [disponible on-line: <http://www.boe.es/boe/dias/2003/05/14/pdfs/A18459-18502.pdf>], consultado en junio de 2012.

Ley 10/2005, de 14 de junio, de Medidas Urgentes para el Impulso de la Televisión Digital Terrestre, de Liberalización de la Televisión por Cable y de Fomento del Pluralismo [disponible on-line: <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2005-10069>], consultado en junio de 2012.

Orden ITC/1077/2006, de 6 de abril, por la que se establece el procedimiento a seguir en las instalaciones colectivas de recepción de televisión en el proceso de su adecuación para la recepción de la televisión digital terrestre y se modifican determinados aspectos administrativos y técnicos de las infraestructuras comunes de telecomunicación en el interior de los edificios [disponible on-line: <http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/Infraestructuras/Normativa/1.->

%20Normativa%20de%20aplicaci%C3%B3n/Orden1077_2006.pdf], consultado en junio de 2012.

Ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la Ley sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio [disponible on-line: <http://www.boe.es/boe/dias/2009/12/23/pdfs/BOE-A-2009-20725.pdf>], consultado en junio de 2012.

Real Decreto 244/2010, de 5 de marzo, por el que se aprueba el Reglamento regulador de la actividad de instalación y mantenimiento de equipos y sistemas de telecomunicación [disponible on-line: <http://www.minetur.gob.es/telecomunicaciones/infraestructuras/registroinstaladores/mo-delos/rd-244-2010.pdf>], consultado en junio de 2012.

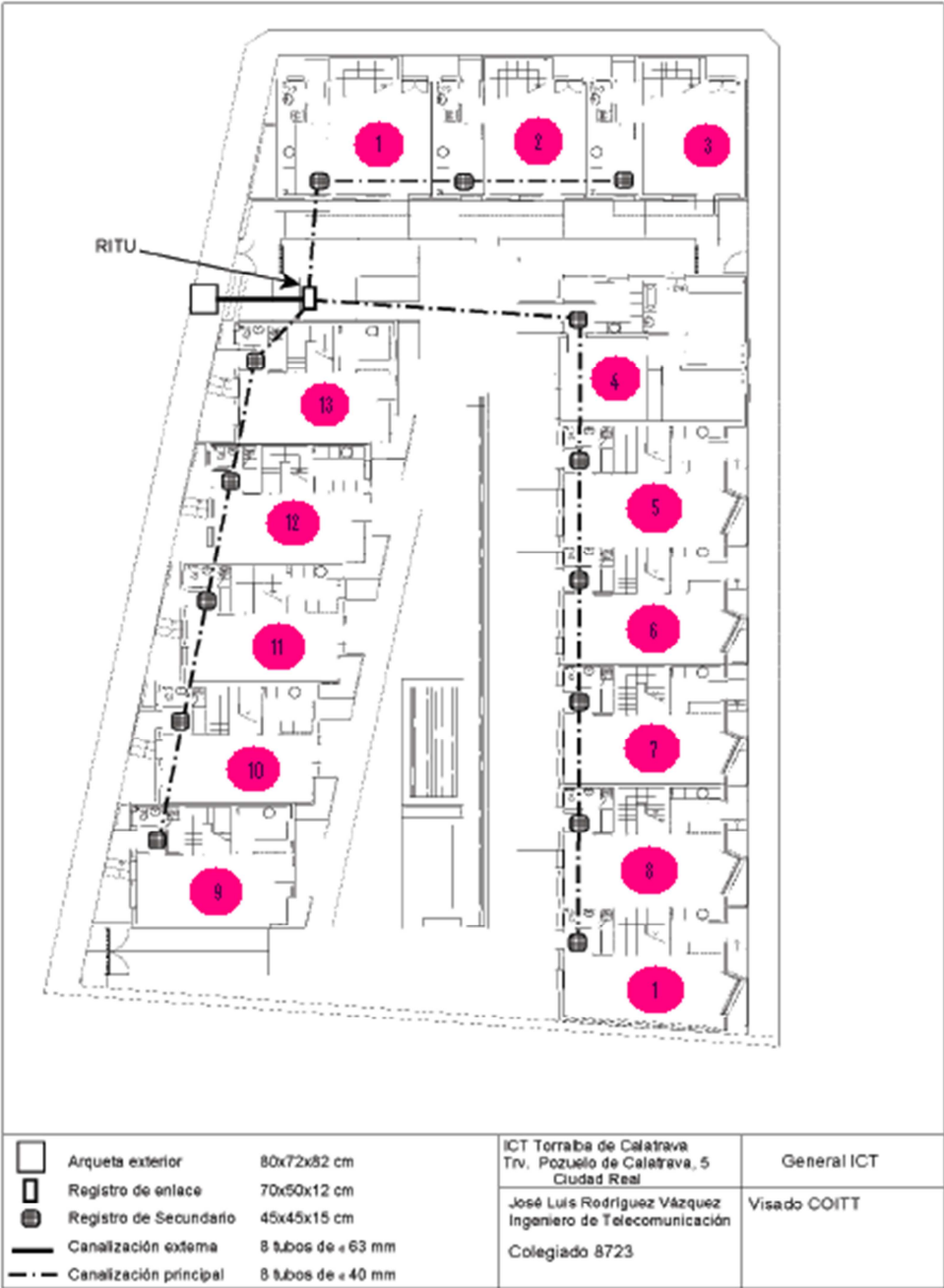
COIT-Colegio Oficial de Ingenieros de **Telecomunicación**, Grupo de Nuevas Actividades Profesionales. *La situación de las Tecnologías WLAN basadas en el estándar IEEE 802.11 y sus variantes (“Wi-Fi”)* [disponible on-line: <http://www.coit.es>], consultado en mayo de 2012.

IEEE-Institute of Electrical and Electronic Engineers, Computer Society. *IEEE802.11-1999. Standard: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*. 1999, consultado en junio de 2012.

Asociación WIFI-Alliance [disponible on-line: www.wi-fi.org], consultado en abril de 2012.

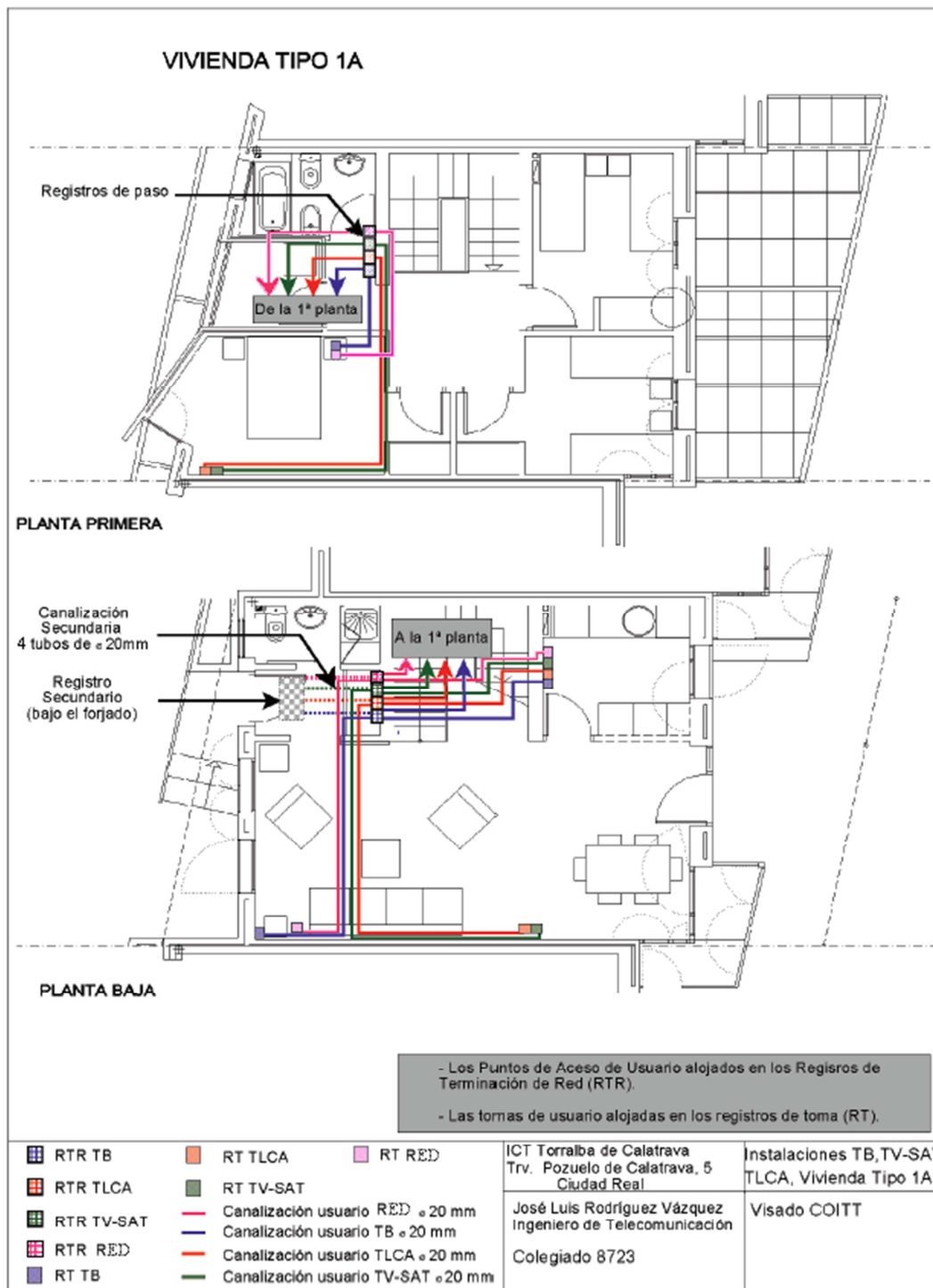
Anexo I. Distribución de los puntos de acceso en las viviendas

1. Distribución de los puntos de acceso en las viviendas

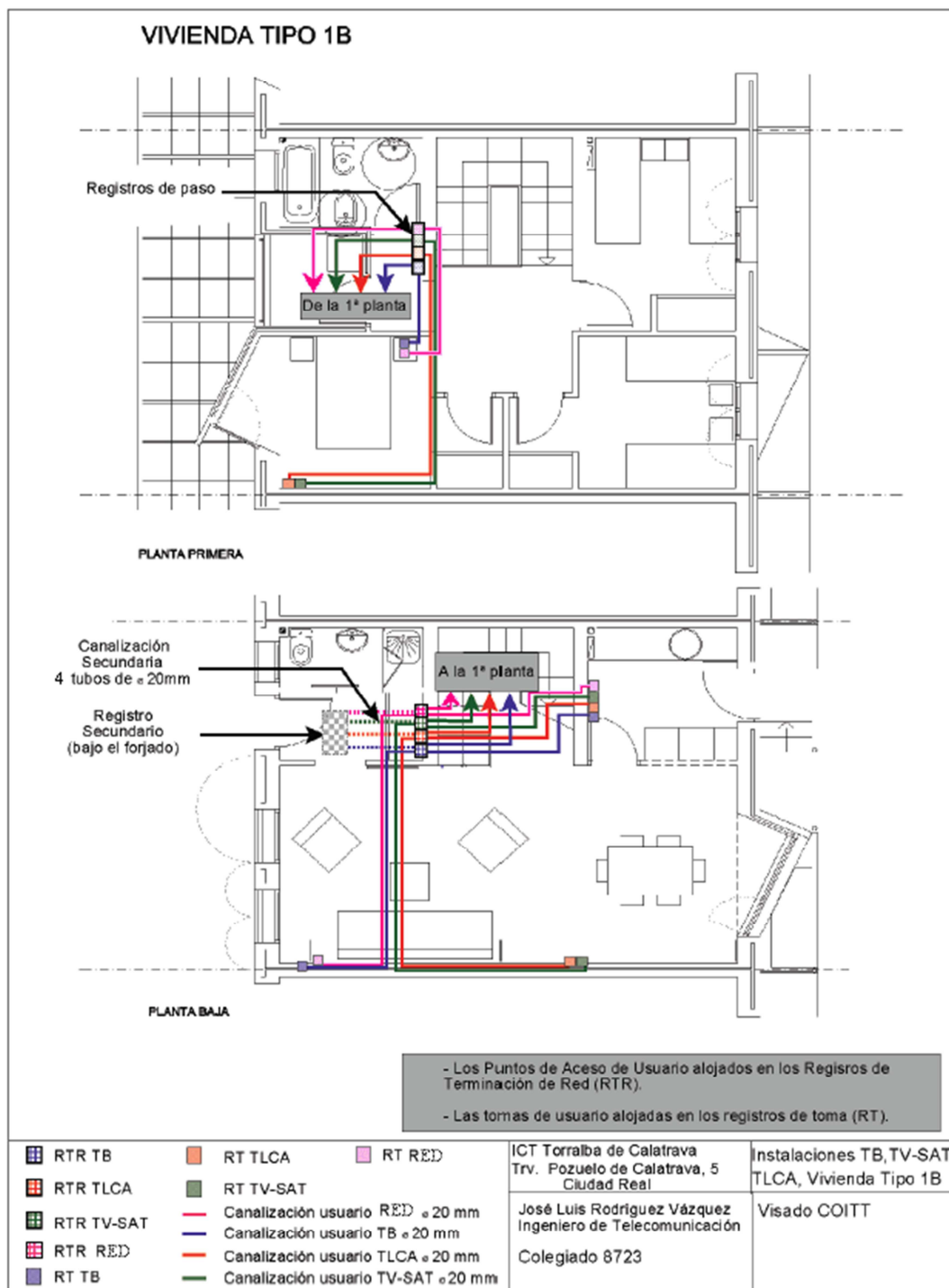


Anexo II. Planos del proyecto ICT de las viviendas

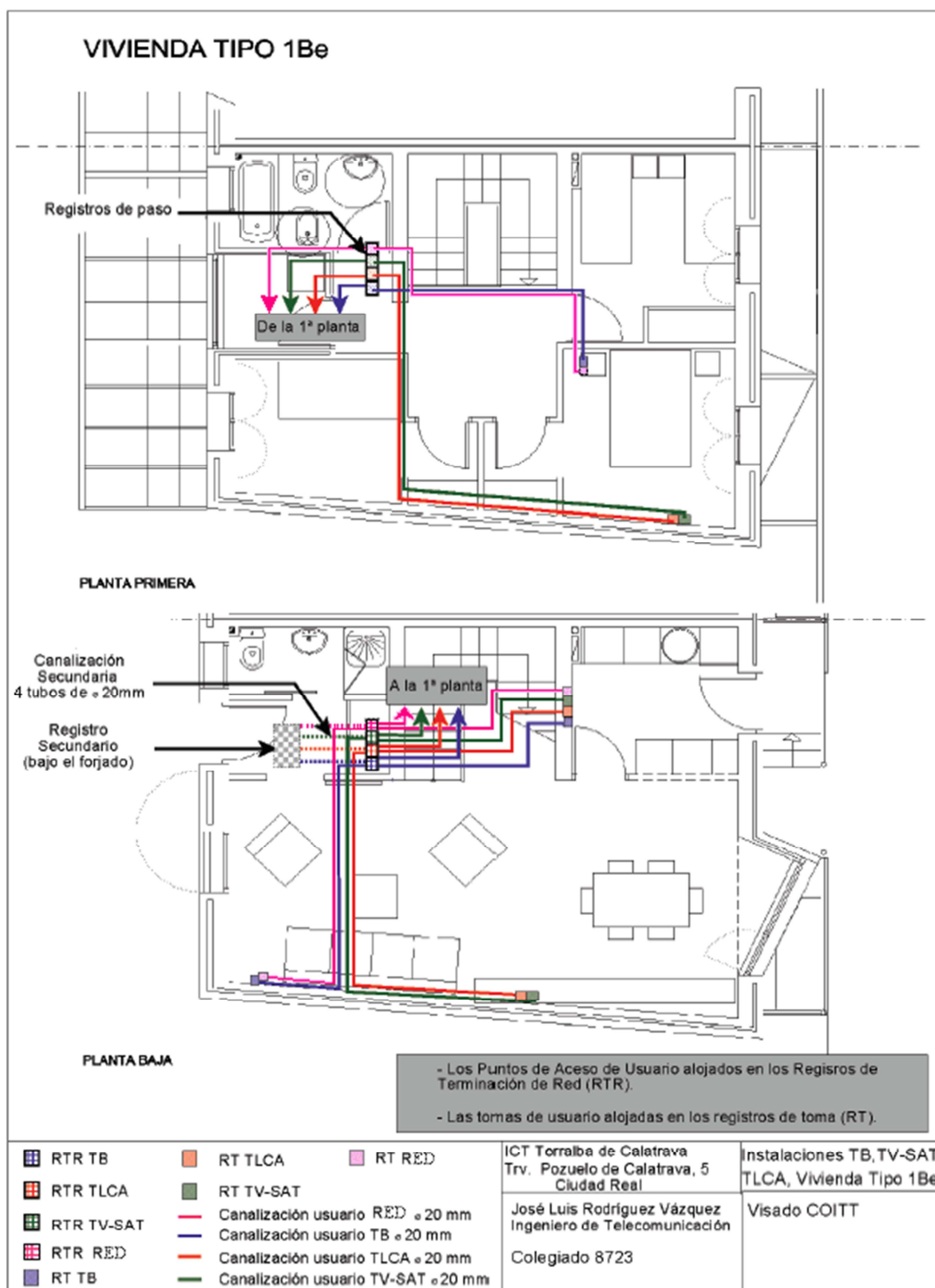
1. Plano del proyecto ICT para vivienda tipo 1A



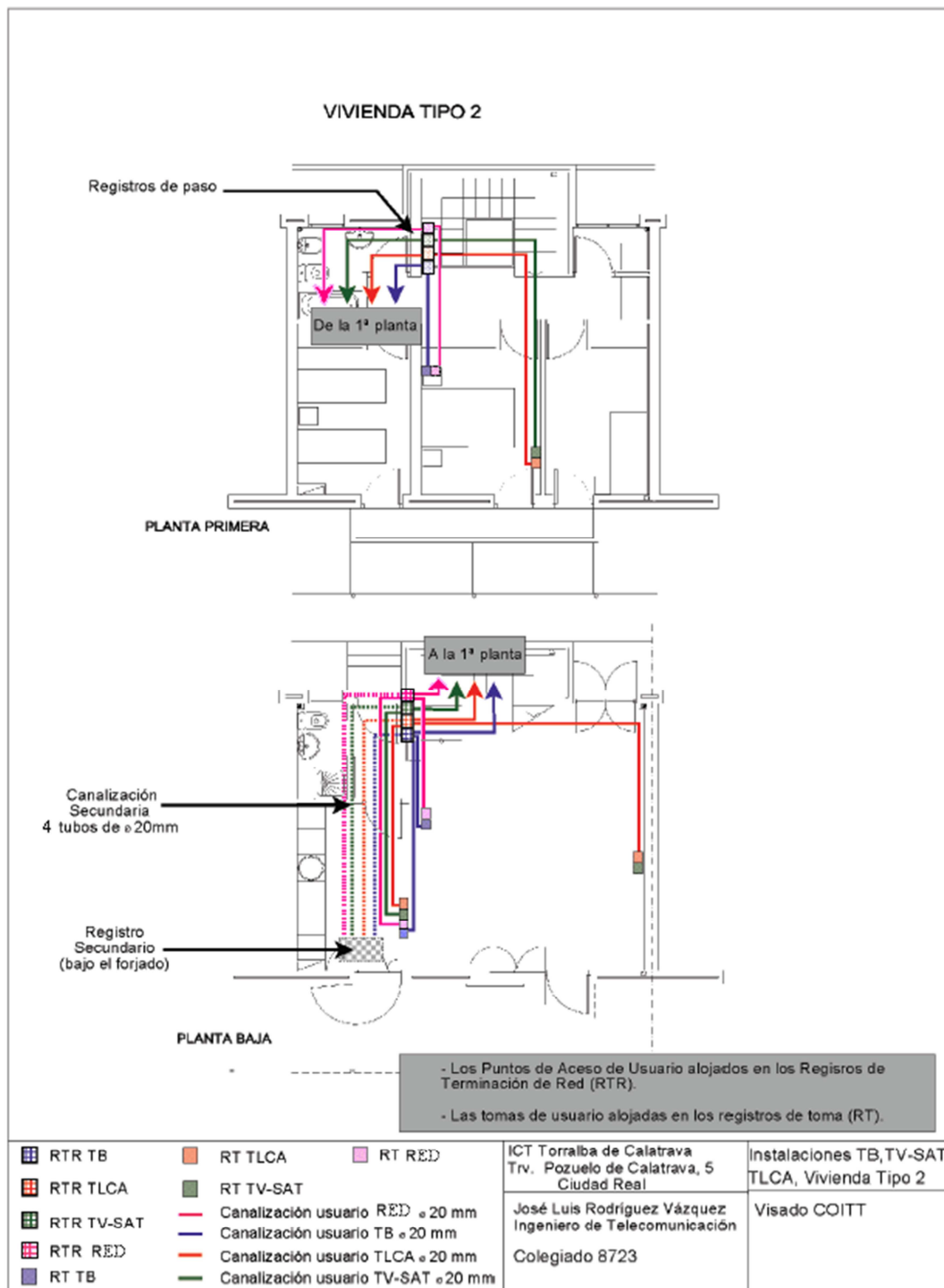
2. Plano del proyecto ICT para vivienda tipo 1B



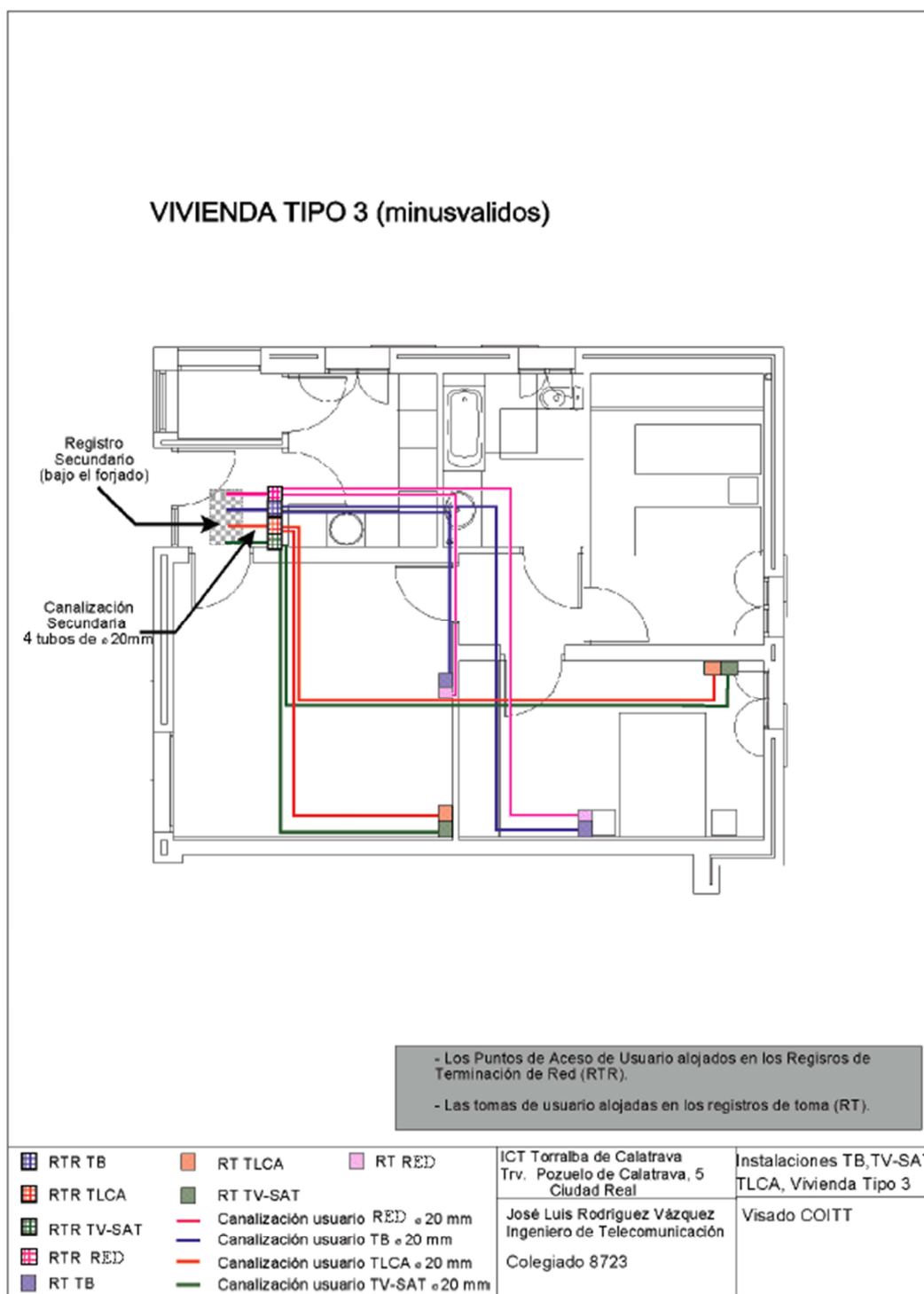
3. Plano del proyecto ICT para vivienda tipo 1Be



4. Plano del proyecto ICT para vivienda tipo 2



5. Plano del proyecto ICT para vivienda tipo 3



Anexo III. Distribución de *routers* y *switchs* por las viviendas

1. Distribución de *routers* y *switchs* por las viviendas

